ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71594— 2024

Дороги автомобильные общего пользования

МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Проектирование элементов из клееной древесины

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Сооружения инженерно-транспортной инфраструктуры» (ООО «СИТИ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 418 «Дорожное хозяйство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 октября 2024 г. № 1390-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Обозначения 4
5 Основные положения 5
6 Общие требования 6
7 Конструирование 7
8 Материалы 8
9 Расчетные характеристики КДК 8
10 Расчет элементов клееных деревянных конструкций 13
10.1 Общие положения 13
10.2 Расчет элементов деревянных конструкций по предельным состояниям 1-й группы 14
10.3 Расчет элементов деревянных конструкций по предельным состояниям 2-й группы 25
11 Расчет соединений элементов деревянных конструкций 26
11.1 Общие положения 26
11.2 Соединения на врубках 28
11.3 Соединения на цилиндрических нагелях 28
11.4 Соединения на вклеенных стержнях 36
12 Плиты проезжей части 48
12.1 Общие положения 48
12.2 Требования к проектированию 50
13 Защита конструкций деревянных клееных 52
Приложение А (справочное) Параметры шурупов и требования к ним 54
Библиография 56

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дороги автомобильные общего пользования

МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Проектирование элементов из клееной древесины

Automobile roads of general use. Bridge constructions. Design of glued wood elements

Дата введения — 2024—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на мостовые сооружения, расположенные на автомобильных дорогах общего пользования, в том числе при прохождении автомобильных дорог общего пользования по территории населенных пунктов.

Настоящий стандарт устанавливает требования к проектированию элементов из клееной древесины в пролетных строениях для новых, реконструируемых и подвергаемых капитальному ремонту или ремонту мостовых сооружений постоянного типа и пешеходных мостов.

Требования настоящего стандарта не распространяются на проектирование:

- элементов из многослойного клееного шпона и из древесины перекрестно клееной;
- комбинированных пролетных строений с несущими балками из клееной древесины и железобетонной плитой проезжей части;
- совмещенных мостов;
- мостовых сооружений на внутрихозяйственных дорогах промышленных, сельскохозяйственных и лесозаготовительных предприятий;
- коммуникационных мостов, не предназначенных для пропуска транспортных средств и пешеходов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 2770 Масло каменноугольное для пропитки древесины. Технические условия

ГОСТ 4028 Гвозди строительные. Конструкция и размеры

ГОСТ 6402 Шайбы пружинные. Технические условия

ГОСТ 9549 Нафтенат меди для противогнилостных составов. Технические условия

ГОСТ 20022.0 Защита древесины. Параметры защищенности

ГОСТ 20022.5 Защита древесины. Автоклавная пропитка маслянистыми защитными средствами

ГОСТ 20022.6 Защита древесины. Способы пропитки

ГОСТ 27751 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 33384 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование мостовых сооружений. Общие требования

ГОСТ 33390 Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия

ГОСТ ISO 7093-2 Шайбы плоские. Крупная серия. Часть 2. Класс точности С

ГОСТ Р 55396 Материалы рулонные битумно-полимерные для гидроизоляции мостовых сооружений. Технические требования

ГОСТ Р 59622 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Проектирование железобетонных элементов

Издание официальное

ГОСТ Р 59623 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Проектирование стальных элементов

ГОСТ Р 71595 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Технические требования к несущим элементам из клееной древесины

СП 14.13330 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»

СП 20.13330 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»

СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»

СП 35.13330 «СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы»

СП 268.1325800 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования

СП 299.1325800.2017 Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

V-образное анкерное соединение: Соединение не менее чем из двух вклеенных стержней под углом 90°—120° друг к другу.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.7]

3.2

блок: Пакет из многослойных элементов, склеенных между собой по высоте или по ширине.

[ГОСТ 20850—2014, пункт 3.1]

3.3

вклеенный вдоль волокон стержень: Стержень, вклеенный под углами менее 20° к направлению волокон древесины.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.6]

3.4

выдергивание: Разрушение клеевого шва соединения, в котором стержень работает на растяжение.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.10]

3.5

выносливость: Способность материала, конструкции, соединения сопротивляться в заданных пределах усталостному разрушению под воздействием циклического изменения временной нагрузки.

[ГОСТ Р 59622—2021, пункт 3.2]

3.6

гнутоклееная конструкция: Клееная деревянная конструкция с криволинейным расположением слоев по длине или на части длины.

[ГОСТ Р 56705—2015, статья 2]

3.7

деформативность соединения: Зависимость взаимного смещения соединяемых элементов соединения от величины нагрузки.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.3]

3.8

класс прочности: Показатель качества многослойных деревянных клееных элементов, соответствующий установленным нормированным величинам прочности, модуля упругости и плотности древесины.

[ГОСТ 33081—2014, пункт 3.2.1]

3.9

конструкционная защита древесины: Защита древесины с использованием конструкций, затрудняющих или исключающих разрушение объекта защиты биологическими агентами.

[ГОСТ Р 56705—2015, статья 87]

3.10

конструкция деревянная клееная; КДК: Элемент здания или другого строительного сооружения из клееной древесины, выполняющий определенные несущие, ограждающие и/или эстетические функции.

[ГОСТ 20850—2014, пункт 3.9]

3.11

конструкция с узловыми соединениями на вклеенных стержнях: Конструкции, соединения элементов которых выполнены с использованием арматурных металлических стержней высокой прочности, вклеиваемые в предварительно подготовленные отверстия в древесине и работающие на выдергивание, продавливание или сдвиг.

[ГОСТ Р 56705—2015, статья 13]

3.12

мостовое сооружение: Инженерное сооружение, состоящее из опор и пролетных строений, предназначенное для пропуска через препятствие разных видов транспортных средств, пешеходов, водотоков, селей и коммуникаций различного назначения (мосты, путепроводы, пешеходные мосты, виадуки, эстакады, акведуки, селедуки); часто подменяется термином «мост».

[ГОСТ 33384—2015, пункт 3.7]

3.13

мост автодорожный: Мост на автомобильных дорогах, предназначенный для движения по нему транспортных средств.

[ГОСТ 33178—2014, пункт 3.4]

3.14

мост пешеходный: Мост, предназначенный в основном для движения пешеходов.

[ГОСТ 33178—2014, пункт 3.5]

3.15

наклонно вклеенный стержень: Стержень, вклеенный под углами от 20° до 70° к направлению волокон древесины.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.4]

3.16

несущая способность: Максимальный эффект воздействия, реализуемый в строительном объекте без превышения предельных состояний.

[ГОСТ 27751—2014, пункт 2.2.4]

3.17

несущая способность соединения: Предельные величины усилия (нагрузки) и деформаций, при которых не происходят разрушение или недопустимые деформации соединения.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.2]

3.18

поперечно вклеенный стержень: Стержень, вклеенный под углами более 70° к направлению волокон древесины.

[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.5]

3.19 **предварительно напряженная деревоплита:** Деревоплита из КДК находящаяся под непрерывным воздействием контролируемых сил, налагаемых на конструкцию, посредством предварительного напряжения стальных стержней.

3.20

продавливание: Разрушение клеевого шва соединения, в котором стержень работает на сжатие.
[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.9]

3.21 **связевая ферма:** Система непрерывных связевых блоков.

3.22 **связевой блок:** Система несущих конструкций, соединенная связями и образующие жесткий диск.

3.23 **связи:** Соединительные элементы, обеспечивающие геометрическую неизменяемость и устойчивость несущих конструкций, и пространственную жесткость сооружения в целом.

3.24

соединение на вклеенных стержнях: Соединение элементов конструкций, выполненное с использованием стержней высокой прочности, вклеиваемых в предварительно подготовленные отверстия и работающих на выдергивание, продавливание или сдвиг.
[ГОСТ Р 56710—2015, пункт 3.1]

3.25

химическая защита древесины: Защита древесины с использованием химических средств, предотвращающих, затрудняющих или прекращающих разрушение объекта защиты.
[ГОСТ Р 56705—2015, статья 89]

4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

Усилия в поперечном сечении элемента:

M — изгибающий момент;

N — продольная сила;

Q — поперечная сила.

Характеристики материалов:

$R_{и}$ — расчетное сопротивление древесины изгибу вдоль волокон;

$R_{с}$ — расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон;

$R_{р}$ — расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон;

$R_{см}$ — расчетное сопротивление древесины смятию вдоль волокон;

$R_{ск}$ — расчетное сопротивление древесины сдвигу вдоль волокон;

$R_{с90}$ — расчетное сопротивление древесины сжатию поперек волокон;

$R_{р90}$ — расчетное сопротивление древесины растяжению поперек волокон;

$R_{см90}$ — расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон;

$R_{ск}^{ср}$ — расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон;

$R_{ск90}$ — расчетное сопротивление древесины сдвигу поперек волокон;

$R_{см\alpha}$ — расчетное сопротивление древесины смятию под углом к волокнам;

$R_{ск\alpha}$ — расчетное сопротивление древесины сдвигу под углом к волокнам;

E_0, E — модуль упругости древесины вдоль волокон;

E_{90} — модуль упругости древесины поперек волокон;

E^{I} — модуль упругости древесины в расчетах несущих конструкций на устойчивость и по деформированной схеме;

$G_{0,90}$, G — модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон;

$v_{90,0}$ — коэффициент Пуассона древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон;

$v_{0,90}$ — коэффициент Пуассона древесины вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон;

$m_а$ — коэффициент, учитывающий влияние пропитки антипиренами;
$m_б$ — коэффициент, учитывающий высоту сечения;
$m_в$ — коэффициент условий эксплуатации конструкций;
$m_{гн}$ — коэффициент, учитывающий радиус кривизны;
$m_{дл}$ — коэффициент, учитывающий длительную нагрузку;
$m_о$ — коэффициент, учитывающий ослабления сечения растянутых и изгибаемых элементов;
$m_{сл}$ — коэффициент, учитывающий толщину слоя;
$m_т$ — коэффициент температурных условий;
$m_ц$ — коэффициент, учитывающий циклическую нагрузку;
T — расчетная несущая способность связи.

Геометрические характеристики:

F — площадь поперечного сечения элемента;
$F_{расч}$ — расчетная площадь поперечного сечения элемента;
$F_{нт}$ — площадь поперечного сечения элемента нетто;
$F_{бр}$ — площадь поперечного сечения элемента брутто;
$F_{см}$ — расчетная площадь смятия;
$F_{ск}$ — расчетная площадь скалывания;
b — ширина поперечного сечения;
d — номинальный диаметр стержней арматурной стали, болтов, шурупов и др.;
h — высота поперечного сечения;
I — момент инерции поперечного сечения элемента;
$I_р$ — момент инерции поперечного сечения элемента брутто;
l — пролет, длина элемента;
l_0 — расчетная длина элемента;
$l_{см}$ — длина площадки смятия;
r — радиус инерции сечения;
S — статический момент поперечного сечения элемента;
$S'_{бр}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента;
$W_{расч}$ — расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента;
$W_{бр}$ — момент сопротивления поперечного сечения элемента брутто.

Прочие основные характеристики:

ξ — коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента;
φ — коэффициент продольного изгиба;
λ — гибкость элемента;
f — прогиб элемента;
$n_ш$ — расчетное число швов в элементе;
$k_{п.с}$ — коэффициент податливости соединений;
ρ — коэффициент асимметрии нагрузки.

5 Основные положения

5.1 Классификацию клееных деревянных конструкций следует выполнять по требованиям ГОСТ Р 71595. Классификацию назначают и указывают в проекте.

5.2 Объекты класса КС-3 (повышенный уровень ответственности) по ГОСТ 27751, при проектировании и строительстве которых используют принципиально новые конструктивные решения, не прошедшие проверку в практике строительства и эксплуатации, должны быть отнесены к классу функционального назначения 1а.

5.3 Для конструкций 1-го класса функционального назначения, при проектировании которых использованы неапробированные ранее или не освоенные производством конструктивные решения или для которых не существует надежных методов расчета, необходимо использовать данные экспериментальных исследований на моделях или натурных конструкциях.

5.4 Допустимые режимы эксплуатации КДК:

- с относительной влажностью воздуха в зоне расположения конструкций 45 % и более при температуре окружающего воздуха не выше 35 °С;
- при температуре окружающего воздуха от 35 °С до 50 °С при относительной влажности воздуха 50 % и более;
- эксплуатационная влажность клееной древесины от 12 % до 20 %.

Применение КДК не допускается при следующих режимах эксплуатации:

- с относительной влажностью воздуха в зоне расположения конструкций менее 45 %;
- при температуре окружающего воздуха выше 50 °С;
- при контакте с грунтом;
- в воде.

5.5 Расчетный срок службы пролетных строений из клееной древесины составляет 50 лет.

6 Общие требования

6.1 Расчеты следует выполнять в соответствии с требованиями статьи 3 [1]. Должны быть выполнены требования ГОСТ 27751, ГОСТ 33384 и ГОСТ Р 71595.

6.2 Долговечность КДК должна быть обеспечена:

- конструктивной и химической защитой от увлажнения, биоповреждения от коррозии для конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред в соответствии с нормами по проектированию защиты строительных конструкций от коррозии согласно СП 28.13330 и от воздействия солнечного ультрафиолетового облучения и нагрева;
- учетом сейсмических воздействий при строительстве в сейсмических районах согласно СП 14.13330 и СП 268.1325800.

6.3 При проектировании КДК следует руководствоваться следующими требованиями:

- если работа (характер нагружения) деревянных конструкций при транспортировании или монтаже отличается от предполагаемого характера работы в проектном положении, необходимо выполнить расчет конструкции на монтажные и транспортные нагрузки, учитывая, при необходимости, их динамические составляющие;
- укрупнительную сборку деревянных конструкций необходимо производить в проектном положении. Это условие должно быть оговорено и учтено в проекте;
- накладки в стыках конструкций, раскосов ферм или подкосов рам при поставке с завода-изготовителя или разметке на монтаже отверстия для болтов или шпилек необходимо предусматривать только в одной накладке. Через них сквозные отверстия сверлят по месту;
- при сопряжении (контакте) клееной древесины с более теплопроводными материалами (бетон, сталь и др.) необходимо предусмотреть между ними устройство гидроизоляционной прокладки или эпоксидную шпатлевку.

6.4 Клееные деревянные конструкции в пролетных строениях, должны быть защищены от атмосферных осадков, других возможных жидкостей и ультрафиолетового излучения.

Для плиты проезжей части следует предусматривать:

- сверху — гидроизоляцию и систему водоотведения, относящихся к конструкции мостового полотна;
- на боковые грани — вентилируемый фасад с верхним кровельным отливом, сопряженным с гидроизоляцией плиты.

Для крайних главных балок в поперечном сечении и торцов поперечных балок, под плитой проезжей части следует предусматривать на внешние боковые грани вентилируемый фасад. Фасад крайней балки может быть объединен с фасадом плиты проезжей части в зависимости от проектного решения.

Для элементов, не защищенных плитой проезжей части, следует предусматривать:

а) на верхнюю грань:

1) самоклеящуюся герметизирующую ленту. При наклейке ленты необходимо обеспечить ее «свисание» над боковыми поверхностями элементов не менее 50 мм;
2) защитный вентилируемый кровельный фартук;

б) на боковые грани — вентилируемый фасад.

Доступ к полости вентилируемых фасадов должен быть ограничен металлической сеткой от грызунов и насекомых с площадью пропускания воздуха не менее 200 $см^2$ на 1 пог. м.

Верхние свободные поверхности КДК (например, верх главной балки, в пространстве поперечных балок под плитой проезжей части и т. п.) должны быть снабжены защитой от нахождения птиц противоприсадными устройствами (шипами).

Нижняя часть КДК пролетных строений должна быть не ниже 0,6 м от уровня грунта.

6.5 Несущую плиту проезжей части следует выполнять по требованиям раздела 12.

6.6 Конструкции деревянных мостов должны обеспечивать доступность всех частей для осмотра и очистки, устранения неплотностей, возникших в соединениях, посредством подтяжки болтов и тяжей, а также допускать возможность простого ремонта отдельных элементов.

При проектировании требуется обеспечить естественную вентиляцию всех конструкций.

6.7 При проектировании деревянных конструкций необходимо:

- учитывать производственные возможности предприятий-изготовителей деревянных конструкций;
- учитывать возможности транспортных и монтажных средств и требования дорожных служб;
- предусматривать меры по обеспечению пространственной жесткости, устойчивости и неизменяемости отдельных конструкций и всего сооружения в целом в процессе монтажа и эксплуатации.

6.8 Напряжения и деформации в деревянных конструкциях от изменения температуры древесины, а также от усушки или разбухания древесины вдоль волокон учитывать не следует.

6.9 Требования к опорным частям выполняют по ГОСТ 33384.

6.10 Действие сил трения при расчете деревянных конструкций следует учитывать:

- если трение ухудшает условия работы конструкций и соединений (коэффициент трения дерева по дереву следует принимать равным 0,6);
- в специально указанных расчетах.

6.11 Пространственную жесткость и устойчивость пролетного строения из клееных деревянных конструкций следует обеспечивать постановкой связей. Связевые блоки следует располагать непрерывно, образуя таким образом связевые фермы.

6.12 Стыки деревянных элементов следует осуществлять совмещенными в одном сечении, перекрывая их накладками на стальных цилиндрических нагелях или соединениях на вклеенных стержнях по 11.4.7.

Конструкция стыков элементов должна обеспечивать осевую передачу продольных усилий.

Стыки элементов необходимо размещать отдельно, без совмещения с другими узлами сопряжения, примыкания и др.

6.13 Элементы КДК следует центрировать в узлах, стыках и на опорах, за исключением тех случаев, когда эксцентричное соединение элементов уменьшает действующий в расчетном сечении изгибающий момент. При наличии эксцентриситета последний следует учитывать расчетом.

6.14 Элементы конструкций должны быть стянуты болтами или шпильками в узлах и стыках, а составные элементы на податливых соединениях стянуты и между узлами или соединены с помощью вклеенных стержней или винтов. Число болтов или шпилек определяется расчетом, но должно быть не менее двух в узле или стыке.

В соединениях на цилиндрических нагелях должно быть поставлено не менее трех стяжных болтов с каждой стороны стыка.

Диаметр стяжных болтов $d_б$ следует принимать по расчету, но не менее 12 мм. Шайбы стяжных болтов должны иметь размер сторон или диаметр не менее $3d_б$ и толщину не менее $0{,}25d_б$.

6.15 Шарнирные узлы необходимо выполнять с возможность их поворота.

6.16 При проектировании КДК следует исключать усилия, растягивающие древесину поперек волокон, за исключением случаев, указанных в разделах 10, 11.

При проектировании КДК предусматривать мероприятия, предотвращающие скалывание и растяжение поперек волокон древесины, согласно требованиям разделов 10, 11.

6.17 Клееные деревянные конструкции должны быть постоянного сечения. Подрезки и ослабления допускаются в местах стыков и соединений, указанных в настоящем стандарте. Расчеты в ослабленном сечении следует проводить на соответствующие усилия, по ослабленному сечению нетто, за исключением случаев, особо оговоренных в настоящем стандарте.

7 Конструирование

7.1 Соединения следует применять простые, с минимальным числом врубок и устраивать так, чтобы в них не застаивалась вода.

В конструкциях, не допускающих устройства зазоров, должны быть приняты меры против увлажнения. Устройство закрытых стыков (накладки со всех сторон) не допускается.

7.2 Для улучшения условий проветривания и обслуживания зазор между торцом главных балок и шкафной стенки следует назначать не менее 20 см, высоту подферменников — не менее 15 см.

7.3 В изгибаемых элементах в сечениях с наибольшими изгибающими моментами необходимо избегать ослабления подрезками крайних растянутых волокон. В опорных сечениях элементов не допускается подрезка.

7.4 Главные балки должны быть связаны между собой и закреплены на опорных частях.

7.5 Усилия от поперечных балок должны быть переданы, равномерно нагружая все ветви пояса фермы или главные несущие балки.

7.6 В местах лобового упора раскосов и стоек при отсутствии наружных соединений должны быть поставлены потайные штыри, в местах пересечения раскосов — болты и прокладки.

7.7 В решетчатой ферме подгаечный брус должен быть общим для всех тяжей одного узла.

Усилия, передаваемые от тяжей на элементы из клееной древесины, должны передаваться через стальные пластины, с расчетом на смятие древесины под пластиной и самой пластины на изгиб.

На концах тяжей длина нарезки резьбы должна обеспечивать возможность необходимой регулировки тяжей гайками при строительстве и эксплуатации.

7.8 В несущих болтах или тяжах под головки и гайки следует применять комплект: шайбу по ГОСТ ISO 7093-2 и пружинную шайбу по ГОСТ 6402.

Головки гайки болтов (тяжей) должны плотно прилегать к поверхности шайб, а последние — к поверхности древесины. В местах примыкания головки болта или гайки к наклонной плоскости элемента надлежит ставить косые шайбы или вырезать плоскость под шайбу в древесине.

Допускается расположение части резьбы болта (тяжа) внутри отверстия в древесине. При работе болта как цилиндрического нагеля на изгиб (условный срез) расположение резьбы в отверстии древесины не допускается. Над затянутой гайкой должно выступать не менее двух ниток резьбы с полным профилем.

7.9 Все гайки на болтах (тяжах) должны быть закреплены от раскручивания контргайками или должно быть предусмотрено применение самоконтрящихся гаек.

8 Материалы

8.1 Клееные деревянные конструкции должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 71595.

8.2 Элементы с усилиями растяжения, изгиба и действию осевой силы с изгибом должны быть из древесины не ниже 1-го сорта или класса прочности К26. Остальные элементы конструкций мостов могут быть выполнены из древесины 2-го сорта или класса прочности К24. Соответствующие сорта или классы прочности элементов указываются в проекте.

8.3 Клей применяют по требованиям ГОСТ Р 71595.

8.4 С учетом условий эксплуатации и применяемых пород древесины (см. 8.1), плотность клееной древесины принимают равной 600 кг/м^3 для определения собственного веса конструкций при расчете.

8.5 Проектирование стальных элементов и арматуры выполняют по ГОСТ Р 59623 и ГОСТ Р 59622 соответственно.

Открытые части конструкций должны быть обработаны в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по защите от коррозии поверхностей стальных конструкций.

8.6 Для конструкций на вклеенных стержнях применяют стальные стержни арматуры периодического профиля. Стержни из круглой стали и арматуры класса А240 следует применять с нарезкой резьбы на всю расчетную длину (глубину) вклеивания.

Для вклеенных стальных нагелей, работающих на изгиб (условный срез), допускается использовать круглую сталь и арматуру класса А240 без нарезки резьбы.

Вклеенные стальные стержни и нагели до вклейки должны быть защищены от коррозии гальваническим цинкованием толщиной покрытия от 30 до 40 мкм или термодиффузионным цинкованием толщиной покрытия от 50 до 60 мкм. Холодное цинкование до вклеивания стержней не допускается.

8.7 Гвозди применяют по ГОСТ 4028 с цинковым покрытием.

8.8 Параметры и требования к шурупам приведены в приложении А.

8.9 Для защитной обработки КДК материалы следует выбирать по разделу 13.

9 Расчетные характеристики КДК

9.1 Расчетные сопротивления клееных деревянных конструкций $R^{р}$, соответствующие сортам, определяют по формуле

$$R^{р} = R^{A} m_{дл} m_{ц} \Pi m_i, \quad (9.1)$$

где R^A — расчетное сопротивление клееной древесины, МПа, влажностью 12 %, приведенное в таблице 9.1 и в соответствующих случаях по 9.2—9.5;

$m_{дл}$ — коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму нагружения, определяемый по таблице 9.2;

$m_ц$ — коэффициент циклической нагрузки согласно 9.8;

$Пm_i$ — произведение коэффициентов условий работы по 9.9.

Таблица 9.1 — Расчетные сопротивления, соответствующие сортам клееной древесины влажностью 12 %

Напряженное состояние и характеристика клееных деревянных элементов	Обозначение	Расчетное сопротивление по сортам, $R^A_р$ МПа	
		1	2
1 Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:			
а) элементы прямоугольного сечения [за исключением указанных в б), в)] высотой не более 50 см	$R^A_и$, $R^A_с$, $R^A_{см}$	21	19,5
б) элементы прямоугольного сечения шириной от 11 до 13 см при высоте сечения от 11 до 50 см		22,5	21
в) элементы прямоугольного сечения шириной более 13 см при высоте сечения от 13 до 50 см		24	22,5
2 Растяжение элементов вдоль волокон	$R^A_з$	18	13,5
3 Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R^A_{с90}$, $R^A_{см90}$	2,7	2,7
4 Смятие поперек волокон местное:			
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	$R^A_{см90}$	4,5	4,5
б) под шайбами при углах смятия от 90° до 60°		6	6
5 Скалывание вдоль волокон:			
а) при изгибе	$R^A_{ск}$	2,4	2,25
б) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения		3,2	3,2
6 Скалывание поперек волокон в соединениях	$R^A_{с90}$	1,05	1,05
7 Растяжение поперек волокон	$R^A_{р90}$	0,23	0,15
8 Срез под углом к волокнам 45°	$R^A_{ср45}$	9	7,5
9 Срез под углом к волокнам 90°	$R^A_{ср90}$	16,5	13,5

Таблица 9.2

Режимы нагружения	Коэффициент длительной прочности $m_{дл}$
1 Совместное действие постоянной и длительной временной нагрузок, напряжение от которых превышает 80 % полного напряжения в элементах конструкций от всех нагрузок	0,53
2 Независимые группы нагрузок: а) совместное действие постоянной, от пешеходов и снеговой нагрузок; б) совместное действие постоянной и снеговой нагрузок	0,66
3 Независимые группы нагрузок: а) совместное действие постоянной и ветровой нагрузок; б) совместное действие постоянной, снеговой и ветровой нагрузок; в) совместное действие постоянной нагрузки и нагрузки от подвижного состава; г) совместное действие постоянной, от подвижного состава и ветровой нагрузок; д) совместное действие постоянной и монтажной нагрузок; е) совместное действие постоянной и кратковременной снеговой нагрузок в условиях пожара	0,8

Окончание таблицы 9.2

Режимы нагружения	Коэффициент длительной прочности $m_{дл}$
4 Совместное действие постоянной и сейсмической нагрузок	0,92
5 Действие импульсных и ударных нагрузок	1,1
Примечание — Для определения процентной доли от полного напряжения для режима нагружения 1 рассматривают расчетные нагрузки.	

9.2 Расчетное сопротивление древесины местному смятию поперек волокон на части длины $R^A_{см90}$ (при длине незагруженных участков не менее длины площадки смятия и толщины элементов), (за исключением случаев, указанных в пункте 4 таблицы 9.1) вычисляют по формуле

$$R^A_{см90} = R^A_{с90}\left(1+\frac{80}{l_{см}+12}\right), \tag{9.2}$$

где $R^A_{с90}$ — расчетное сопротивление древесины сжатию и смятию по всей поверхности поперек волокон;

$l_{см}$ — длина площадки смятия вдоль волокон древесины, мм.

9.3 Расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон $R^A_{см\alpha}$ вычисляют по формуле

$$R^A_{см\alpha} = \frac{R^A_{см}}{1+\left(\frac{R^A_{см}}{R^A_{см90}}-1\right)\sin^3\alpha}. \tag{9.3}$$

9.4 Расчетное сопротивление древесины растяжению под углом α к направлению волокон $R^A_{р\alpha}$ вычисляют по формуле

$$R^A_{р\alpha} = \frac{R^A_{р}}{1+\left(\frac{R^A_{р}}{R^A_{р90}}-1\right)\sin^3\alpha}. \tag{9.4}$$

9.5 Расчетное сопротивление древесины скалыванию под углом α к направлению волокон $R^A_{ск\alpha}$ вычисляют по формуле

$$R^A_{ск\alpha} = \frac{R^A_{ск}}{1+\left(\frac{R^A_{ск}}{R^A_{ск90}}-1\right)\sin^3\alpha}. \tag{9.5}$$

9.6 Расчетные сопротивления клееных деревянных конструкций $R^р$, соответствующих классам прочности, вычисляют по формуле

$$R^р = \frac{R^н m_{дл} m_ц \Pi m_i}{\gamma_m}, \tag{9.6}$$

где $R^н$ — нормативная прочность материала, МПа, указанная в таблице 9.3;

γ_m — коэффициент надежности по материалу (см. таблицу 9.4).

9.7 Физико-механические характеристики КДК, установленные для классов прочности К24, К26, К28, К32 и К36, приведены в таблице 9.3.

9.8 При расчете на выносливость коэффициент циклической нагрузки $m_ц$ определяют по таблице 9.5. В остальных случаях, кроме расчетов на выносливость, коэффициент $m_ц$ = 1.

Таблица 9.3 — Физико-механические характеристики КДК, установленные для классов прочности

Наименование показателя	Значение показателя для классов прочности				
	К24	К26	К28	К32	К36
Прочность $R^н$, МПа					
Нормативное значение при изгибе $R_{и.н}$	24	26	28	32	36
Растяжение вдоль волокон $R_{р.н}$	19,2	20,6	22,3	25,6	28
Растяжение поперек волокон $R_{р90.н}$	0,50				
Сжатие вдоль волокон $R_{с.н}$	24	26	28	32	36
Сжатие поперек волокон $R_{с90.н}$	2,5				
Скалывание вдоль волокон $R_{ск.н}$	3,5				
Модуль упругости, ГПа					
Среднее значение модуля упругости при изгибе $E_{0ср}$	11,5	12,1	12,6	13,7	14,7
Нормативное значение модуля упругости, 5 %-ный квантиль $E_{0н}$	9,4	9,8	10,2	11,1	11,9
Среднее значение модуля упругости поперек волокон $E_{90ср}$	0,30				
Модуль сдвига, ГПа					
Среднее значение модуля сдвига $G_{ср}$	0,65				
Нормативное значение модуля сдвига, 5 %-ный квантиль $G_н$	0,54				

Таблица 9.4

Напряженное состояние	Коэффициент надежности по материалу γ_m
Изгиб	1,2
Сжатие и смятие вдоль волокон	1,15
Растяжение вдоль волокон	1,25
Скалывание вдоль волокон	1,25
Сжатие и смятие поперек волокон	1,15
Растяжение поперек волокон	1,4
Скалывание поперек волокон	1,25

Коэффициент асимметрии нагрузки ρ определяют по формулам:

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}, \quad (9.7)$$

$$\rho = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}}. \quad (9.8)$$

где σ_{min}, σ_{max}, τ_{min}, τ_{max} — наименьшие и наибольшие по абсолютной величине значения напряжений со своими знаками при расчете на выносливость.

Таблица 9.5

Напряженное состояние элементов и соединений	Коэффициент циклической нагрузки $m_ц$ при коэффициенте асимметрии нагрузки ρ							
	–1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Изгиб	0,35	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,80	0,84
Растяжение вдоль волокон	—							
Сжатие и смятие вдоль и поперек волокон	—	0,81	0,85	0,89	0,91	0,94	0,97	0,98

Окончание таблицы 9.5

Напряженное состояние элементов и соединений	Коэффициент циклической нагрузки $m_ц$ при коэффициенте асимметрии нагрузки ρ							
	–1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Скалывание вдоль волокон, соединения на вклеенных стержнях вдоль волокон	0,27	0,61	0,67	0,72	0,77	0,82	0,87	0,93
Скалывание поперек волокон, соединения на вклеенных стержнях под углом к волокнам	0,43	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81	0,85
Нагельные соединения на цилиндрических и вклеенных нагелях	0,29	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,63	0,68
Примечание — Промежуточные значения определяют по интерполяции.								

9.9 При определении расчетного сопротивления в соответствующих случаях применяют коэффициенты условий работы:

а) коэффициент эксплуатационной влажности $m_в = 0,85$;

б) для конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха:

1) ниже 35 °С, коэффициент $m_т = 1$;

2) при температуре 50 °С коэффициент $m_т = 0,8$. Для промежуточных значений температуры коэффициент принимают по интерполяции;

в) для изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов прямоугольного сечения высотой более 50 см в зависимости от высоты сечения, значения расчетных сопротивлений изгибу и сжатию вдоль волокон — коэффициент $m_б$, указанный в таблице 9.6;

г) растянутых и или изгибаемых элементов с ослаблением в расчетном сечении — коэффициент $m_о = 0,8$;

д) элементов, подвергнутых глубокой пропитке антипиренами под давлением, — коэффициент $m_а = 0,9$;

е) изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных деревянных элементов, в зависимости от толщины слоев, значения расчетных сопротивлений изгибу, скалыванию и сжатию вдоль волокон, — коэффициент $m_{сл}$, указанный в таблице 9.7;

ж) криволинейных (гнутоклееных) элементов конструкций в зависимости от отношения радиуса кривизны слоя и толщины слоя в радиальном направлении, значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу — коэффициент $m_{гн}$, указанный в таблице 9.8;

и) для смятия поперек волокон при режимах нагружения 2 б), 3, 4, 5 таблицы 9.2 — коэффициент $m_{см} = 1,15$.

Таблица 9.6

Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент $m_б$	1	0,96	0,93	0,90	0,85	0,8

Таблица 9.7

Толщина слоя, мм	19	26	33
Коэффициент $m_{сл}$	1,1	1,05	1,0

Таблица 9.8

Напряженное состояние	Обозначение расчетных сопротивлений	Коэффициент $m_{гн}$ при отношении $r_к/a$		
		200	250	500 и более
Сжатие и изгиб	$R_с$ $R_и$	0,9	1	1
Растяжение	$R_р$	0,7	0,8	1
Примечание — В настоящей таблице применены следующие обозначения: $r_к$ — радиус кривизны слоя гнутоклееного элемента; a — толщина слоя гнутоклееного элемента в радиальном направлении.				

9.10 Расчетный модуль упругости (модуль сдвига) клееной древесины при расчете по предельным состояниям 2-й группы $E^{II}(G^{II})$ вычисляют по формуле

$$E^{II}(G^{II}) = E_{ср}(G_{ср})m_{дл\ E}\Pi m_i, \quad (9.9)$$

где $E_{ср}(G_{ср})$ — средний модуль упругости при изгибе (модуль сдвига), МПа:

а) для КДК, соответствующих сортам, среднее значение модуля упругости:

1) вдоль волокон $E_{0\ ср}$ = 10 ГПа;

2) поперек волокон $E_{90\ ср}$ = 0,4 ГПа;

б) для КДК, соответствующих классам прочности, — по таблице 9.3;

в) среднее значение модуля сдвига $G_{ср}$ = 0,5 ГПа;

$m_{дл\ E}$ — коэффициент длительности нагружения для упругих характеристик, для режимов нагружения в соответствии с таблицей 9.2:

а) при режиме нагружения 1 — $m_{дл\ E}$ = 0,75;

б) при режиме нагружения 2 — $m_{дл\ E}$ = 0,9;

в) при остальных режимах нагружения кроме 1, 2 — $m_{дл\ E}$ = 1;

Πm_i — произведение коэффициентов условий работы по 9.9, перечисления а), б).

9.11 Расчетный модуль упругости (модуль сдвига) клееной древесины при расчете по предельным состояниям 1-й группы по деформированной схеме E^{I} (G^{I}) вычисляют по формуле

$$E^{I}\ (G^{I})\ .= E_{н}(G_{н})m_{дл\ E}\Pi m_i, \quad (9.10)$$

где $E_{н}(G_{н})$ — нормативный модуль упругости при изгибе (нормативный модуль сдвига), МПа:

- для КДК, соответствующих сортам, определяют по 9.12;
- для КДК, соответствующих классам прочности, определяют по таблице 9.3;

$m_{дл\ E}$ и Πm_i — в соответствии с 9.10.

9.12 Для КДК, соответствующих сортам:

а) нормативное значение модуля упругости:

1) вдоль волокон $E_{0\ н}$ = 7 ГПа;

2) поперек волокон $E_{90\ н}$ = 0,28 ГПа;

б) нормативное значение модуля сдвига $G_{н}$ = 0,38 ГПа.

9.13 Коэффициент Пуассона древесины:

- поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, соответствует $v_{90,0}$ = 0,45;
- вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон, соответствует $v_{0,90}$ = 0,018.

9.14 Расчетный модуль упругости в расчетах конструкций на устойчивость для клееной древесины определяют по формуле

$$E^{I} = 300\ R_{с.н}, \quad (9.11)$$

где $R_{с.н}$ — нормативное сопротивление сжатию вдоль волокон:

а) для КДК, соответствующих сортам:

1) для 1-го сорта $R_{с.н}$ = 25 МПа;

2) для 2-го сорта $R_{с.н}$ = 23 МПа;

б) для КДК, соответствующих классам прочности, — по таблице 9.3.

9.15 Модуль сдвига относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон, $G^{I}_{0,90} = 0,05\ E^{I}$.

10 Расчет элементов клееных деревянных конструкций

10.1 Общие положения

10.1.1 Расчет элементов следует проводить на усилия от нагрузок и воздействий по ГОСТ 33390.

Для мостовых сооружений закрытого типа следует учитывать снеговую нагрузку согласно СП 20.13330.

10.1.2 При расчете конструкций пролетных строений:

- не учитывают напряжения и деформации от изменения температуры, а также возникающие при усушке и разбухании древесины за исключением конструкций имеющие такие данные;
- учитывают изменение температуры среды при определении возникающей дополнительной сжимающей силы под шайбой, от напрягаемых стальных стержней в предварительно напряженных деревоплитах пролетных строений.

10.1.3 Связи пролетных строений, расположенные под поперечными балками и деревоплитой, следует рассчитывать на ветровую нагрузку и на горизонтальные поперечные воздействия от временной нагрузки.

Ветровую нагрузку следует прикладывать на главные и поперечные балки, пояса ферм, деревоплиту, мостовое полотно и ограждения.

10.2 Расчет элементов деревянных конструкций по предельным состояниям 1-й группы

10.2.1 Расчет центрально-растянутых элементов проводят по формуле

$$\frac{N}{F_{нт}} \le R_р, \tag{10.1}$$

где N — расчетная продольная сила;

$F_{нт}$ — площадь нетто поперечного сечения элемента;

$R_р$ — расчетное сопротивление КДК растяжению вдоль волокон, определяемое по разделу 9.

При определении $F_{нт}$ ослабления, расположенные на участке длиной не более 200 мм, следует принимать совмещенными в одном сечении.

10.2.2 Расчет центрально-сжатых элементов постоянного цельного сечения проводят:

а) на прочность по формуле

$$\frac{N}{F_{нт}} \le R_с, \tag{10.2}$$

б) на устойчивость по формуле

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{расч}} \le R_с, \tag{10.3}$$

где $R_с$ — расчетное сопротивление КДК сжатию вдоль волокон, определяемое по по разделу 9;

φ — коэффициент продольного изгиба, определяемый согласно 10.2.3;

$F_{расч}$ — расчетная площадь поперечного сечения элемента, принимаемая равной:

а) при отсутствии ослаблений или ослаблениях в опасных сечениях, не выходящих на кромки как показано на рисунке 10.1 *а*:

1) если площадь ослаблений не превышает 25 % $F_{бр}$, $F_{расч} = F_{бр}$; где $F_{бр}$ — площадь сечения брутто;

2) при ослаблениях, не выходящих на кромки, если площадь ослабления превышает 25 % $F_{бр}$, $F_{расч} = \frac{4}{3}F_{нт}$;

б) при симметричных ослаблениях, выходящих на кромки как показано на рисунке 10.1 *б*, $F_{расч} = F_{нт}$.

10.2.3 Коэффициент продольного изгиба φ определяют:

а) при гибкости элемента $\lambda > 70$ по формуле

$$\varphi = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2, \tag{10.4}$$

б) при гибкости элемента $\lambda > 70$ по формуле

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2}, \tag{10.5}$$

где a — коэффициент, равный 0,8;

λ — гибкость по 10.2.4;

A — коэффициент, равный 3000.



а — не выходящие на кромку

б — выходящие на кромку

Рисунок 10.1 — Ослабление сжатых элементов

10.2.4 Гибкость элементов цельного сечения λ вычисляют по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{r}, \tag{10.6}$$

где l_0 — расчетная длина элемента по 10.2.5;

r — радиус инерции сечения элемента с максимальными размерами брутто относительно осей x и y.

10.2.5 Расчетную длину элемента l_0 вычисляют по формуле

$$l_0 = l \cdot \mu_0, \tag{10.7}$$

где l — длина элемента;

μ_0 — коэффициент согласно 10.2.20.

10.2.6 Составные элементы на податливых соединениях, опертые всем сечением, следует рассчитывать на прочность и устойчивость по формулам (10.2) и (10.3), при этом $F_{нт}$ и $E_{расч}$ определяют как суммарные площади всех ветвей.

Гибкость составных элементов λ вычисляют с учетом податливости соединений по формуле

$$\lambda = \sqrt{\left(\mu_y \cdot \lambda_y\right)^2 + \lambda_1^2}, \tag{10.8}$$

где μ_y — коэффициент приведения гибкости, определяемый по формуле (10.9);

λ_y — гибкость всего элемента относительно оси y как показано на рисунке 10.2, вычисленная по расчетной длине элемента l_0 без учета податливости;

λ_1 — гибкость отдельной ветви относительно оси I-I (см. рисунок 10.2), вычисленная по расчетной длине ветви l_1; при l_1 менее семи толщин h_1 ветви принимают с $\lambda_1 = 0$.

Коэффициент приведения гибкости μ_y вычисляют по формуле

$$\mu_y = \sqrt{1 + k_{п.с} \cdot \frac{b \cdot h \cdot n_ш}{l_0^2 \cdot n_c}}, \tag{10.9}$$

где $k_{п.с}$ — коэффициент податливости соединений, который следует определять по формулам таблицы 10.1;

b и h — ширина и высота поперечного сечения элемента, см;

$n_ш$ — расчетное число швов в элементе, определяемое числом швов, по которым суммируется взаимный сдвиг элементов как показано на рисунке 10.2 *а* — четыре шва, на рисунке 10.2 *б* — пять швов;

l_0 — расчетная длина элемента, м;

n_c — расчетное число срезов связей в одном шве на 1 м элемента (при нескольких швах с различным числом срезов следует принимать среднее для всех швов число срезов).

Таблица 10.1

Вид связей	Коэффициент $k_{п.с}$	
	при центральном сжатии	при сжатии с изгибом
1 Шурупы	$\frac{1}{10d^2}$	$\frac{1}{5d^2}$
2 Стальные цилиндрические нагели:		
а) диаметром $\leq \frac{1}{7}$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1}{5d^2}$	$\frac{1}{2{,}5d^2}$
б) диаметром $> \frac{1}{7}$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1{,}5}{a \cdot d}$	$\frac{3}{a \cdot d}$
3 Вклеенные стержни из арматуры периодического профиля	$\frac{1}{10d^2}$	$\frac{1}{5d^2}$
4 Клей	0	0
Примечание — Диаметры, шурупов, нагелей и вклеенных стержней d, толщина более тонкого из соединяемых элементов a, должны быть выражены в сантиметрах.		

Связи в швах следует расставлять равномерно по длине элемента. В шарнирно-опертых прямолинейных элементах допускается в средних четвертях длины ставить связи в половинном количестве, вводя в расчет по формуле (10.9) величину n_c, принятую для крайних четвертей длины элемента.

Гибкость составного элемента λ, вычисленную по формуле (10.8), следует принимать не более гибкости λ отдельных ветвей, определяемой по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{\sum I_{i\,бр}}{F_{бр}}}}, \qquad (10.10)$$

где l_0 — расчетная длина элемента;

$\sum I_{i\,бр}$ — сумма моментов инерции брутто поперечных сечений отдельных ветвей относительно собственных осей, параллельных оси y (см. рисунок 10.2);

$F_{бр}$ — площадь сечения брутто элемента.

Гибкость составного элемента относительно оси x, проходящей через центры тяжести сечений всех ветвей (см. рисунок 10.2), следует определять как для цельного элемента, т. е. без учета податливости связей, если ветви нагружены равномерно. При неравномерно нагруженных ветвях следует руководствоваться 10.2.7.

Если ветви составного элемента имеют различное сечение, то расчетную гибкость λ_1 ветви в формуле (10.8) следует принимать по формуле (10.10) с заменой l_0 на l_1, где l_1 — расчетная длина ветви элемента (см. рисунок 10.2).

10.2.7 Составные элементы на податливых соединениях, часть ветвей которых не оперта по концам, допускается рассчитывать на прочность и устойчивость по формулам (10.2), (10.3) при соблюдении следующих условий:

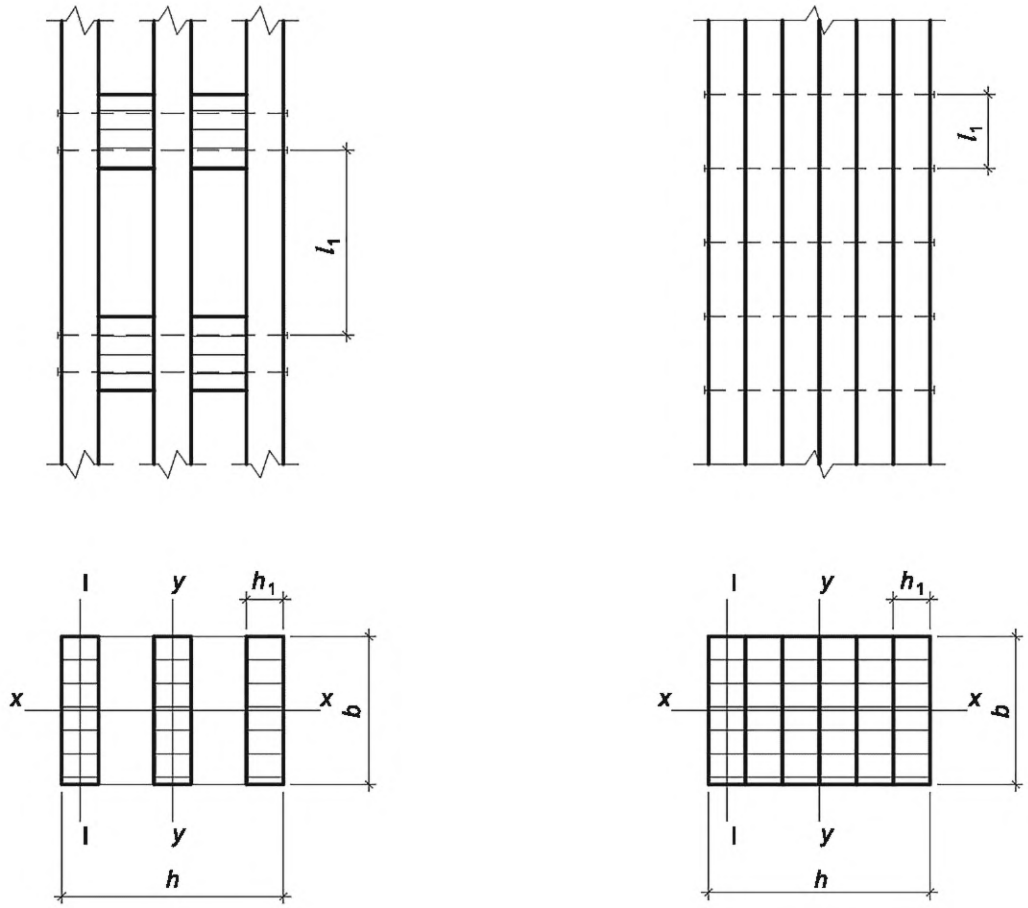
а) площади поперечного сечения элемента $F_{нт}$ и $F_{расч}$ следует определять по сечению опертых ветвей;

б) гибкость элемента относительно оси y (см. рисунок 10.2) следует определять по формуле (10.8); при этом момент инерции вычисляют с учетом всех ветвей, а площадь — только опертых;

в) при определении гибкости относительно оси x (см. рисунок 10.2) момент инерции следует вычислять по формуле

$$I = I_o + 0{,}5I_{но}, \qquad (10.11)$$

где I_o и $I_{но}$ — моменты инерции поперечных сечений соответственно опертых и не опертых ветвей.



а — с прокладками

б — без прокладок

Рисунок 10.2 — Составные элементы

10.2.8 Расчет изгибаемых элементов, обеспеченных от потери устойчивости плоской формы деформирования по 10.2.12, на прочность по нормальным напряжениям выполняют по формуле

$$\frac{M}{W_{\text{расч}}} \le R_{\text{и}}, \tag{10.12}$$

где M — расчетный изгибающий момент;

$W_{\text{расч}}$ — расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента;

$R_{\text{и}}$ — расчетное сопротивление изгибу.

10.2.9 Расчет изгибаемых элементов на прочность по скалыванию выполняют по формуле

$$\frac{Q \cdot S'_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}} \cdot b_{\text{расч}}} \le R_{\text{ск}}, \tag{10.13}$$

где Q — расчетная поперечная сила;

$S'_{\text{бр}}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{\text{бр}}$ — момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$b_{\text{расч}}$ — расчетная ширина сечения элемента;

$R_{\text{ск}}$ — расчетное сопротивление скалыванию при изгибе.

10.2.10 Расчет элементов цельного сечения на прочность при косом изгибе выполняют по формуле

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \le R_{\text{и}}, \tag{10.14}$$

где M_x и M_y — составляющие расчетного изгибающего момента для главных осей сечения x и y;

W_x и W_y — моменты сопротивлений поперечного сечения нетто относительно главных осей сечения x и y.

10.2.11 Криволинейные (гнутоклееные) участки КДК, изгибаемые моментом M, уменьшающим их кривизну (как показано на рисунке 10.3), рассчитывают:

а) по тангенциальным нормальным напряжениям на внутренней (ближней к центру кривизны) $\sigma_{\theta\,в}$ и наружной $\sigma_{\theta\,н}$ кромках элемента по формулам:

$$\sigma_{\theta\,в} = \frac{M \cdot (r_0 - r_1)}{F \cdot y_0 \cdot r_1} \le R_и; \tag{10.15}$$

$$\sigma_{\theta\,н} = \frac{M \cdot (r_2 - r_0)}{F \cdot y_0 \cdot r_2} \le R_и, \tag{10.16}$$

где M — расчетный изгибающий момент;

r, r_0, r_1, r_2 — радиусы кривизны геометрической оси, нейтрального слоя, внутренней и наружной кромок элемента соответственно;

F — площадь поперечного сечения гнутого элемента;

$y_0 = \frac{I}{F \cdot r}$ — смещение нейтрального слоя от геометрической оси криволинейного участка;

I — момент инерции поперечного сечения гнутого элемента;

$R_и$ — расчетное сопротивление древесины изгибу;

б) по максимальным радиальным нормальным напряжениям по формуле

$$\sigma_{r\ max} = \left(\frac{M}{F \cdot y_0}\right) \cdot \left[\frac{r_0}{r_1} - \ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right) - 1\right] \le R_{p90}, \tag{10.17}$$

где R_{p90} — расчетное сопротивление КДК растяжению поперек волокон.

При невыполнении условия по формуле (10.17) допускается выполнять усиление постановкой вклеенных стержней, рассчитанных на восприятие растягивающего усилия N_s, вычисляемого по формуле

$$N_s = 5\left(\sigma_{r\ max} - 0{,}8R_{p90}\right)\frac{bh^2}{l_2}, \tag{10.18}$$

где l_2 — длина хорды криволинейного участка, на котором не выполняется условие по формуле (10.17)

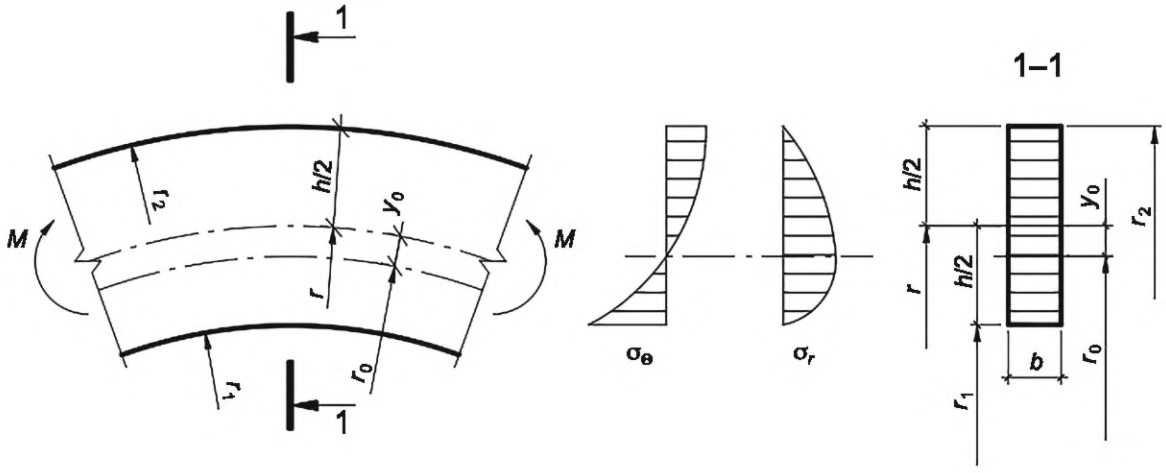


Рисунок 10.3 — Расчетная схема гнутого элемента при чистом изгибе

10.2.12 Расчет на устойчивость плоской формы деформирования изгибаемых элементов прямоугольного постоянного сечения выполняют по формуле

$$\frac{M}{\varphi_M \cdot W_{бр}} \le R_и, \qquad (10.19)$$

где M — максимальный изгибающий момент на рассматриваемом участке $l_р$;

$W_{бр}$ — максимальный момент сопротивления брутто на рассматриваемом участке $l_р$;

φ_M — коэффициент для изгибаемых элементов прямоугольного постоянного поперечного сечения, шарнирно закрепленных от смещения из плоскости изгиба и закрепленных от поворота вокруг продольной оси в опорных сечениях, вычисляемый по формуле

$$\varphi_M = 140\frac{b^2}{l_р \cdot h}k_ф, \qquad (10.20)$$

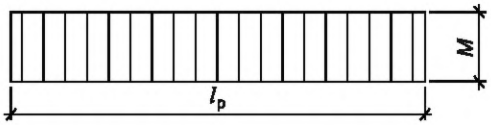
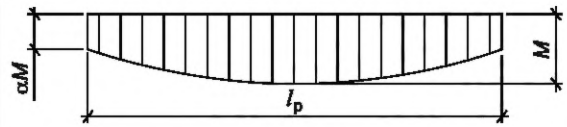
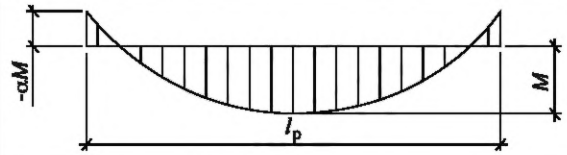
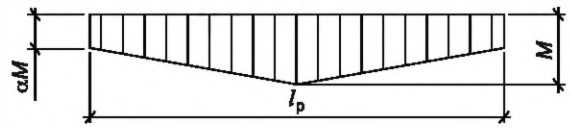
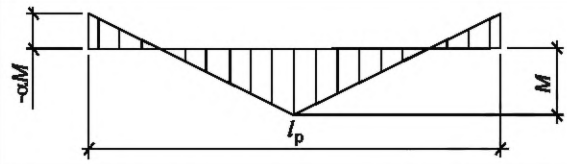
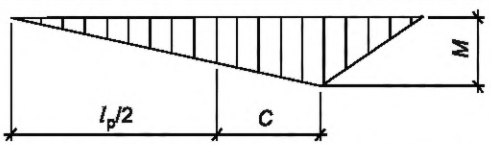
где b — ширина поперечного сечения;

$l_р$ — расстояние между опорными сечениями элемента, а при закреплении сжатой кромки элемента в промежуточных точках от смещения из плоскости изгиба — расстояние между этими точками;

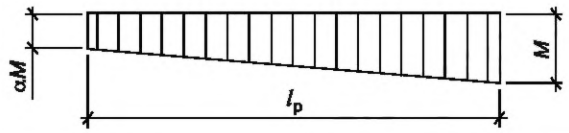
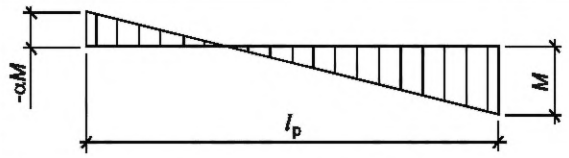
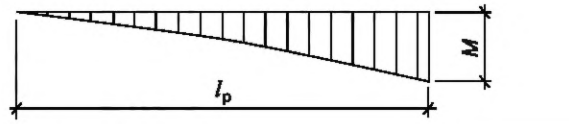
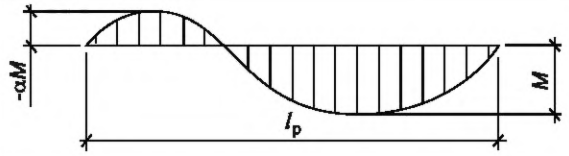
h — максимальная высота поперечного сечения на участке $l_р$;

k_φ — коэффициент, зависящий от формы эпюры изгибающих моментов на участке $l_р$, определяемый по таблице 10.2.

Таблица 10.2

Форма эпюры моментов	k_φ	
	При закреплении только по концам участка $l_р$	При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке
	1	
	$1,13 - 0,13\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	
	$1,13 - \alpha \cdot (0,12 + 0,02\alpha)$ $-2 \le \alpha \le 0$	
	$1,35 - 0,35\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	
	$1,35 - 0,35\alpha$ $-1 \le \alpha \le 0$	$\frac{4}{3+\alpha}$ $-1 \le \alpha \le 0$
 C — расстояние от середины элемента до максимального момента	$1,35 + 1,45\left(\frac{C}{l_р}\right)^2$	$1,35 + 0,3\left(\frac{C}{l_р}\right)$

Окончание таблицы 10.2

Форма эпюры моментов	k_φ	
	При закреплении только по концам участка $l_р$	При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке
	$1{,}75 + 0{,}75\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	$\frac{3}{2+\alpha}$ $0 \le \alpha \le 1$
	$1{,}75 - 0{,}75\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	$\frac{3}{2+\alpha}$ $-2 \le \alpha \le 0$
	2,54	2,32
	$1{,}13 - \alpha \cdot (1{,}4 + 1{,}27\alpha)$ $-1 \le \alpha \le 0$	$1{,}13 - \alpha \cdot (0{,}57 + 0{,}2\alpha)$ $-1 \le \alpha \le 0$

При подкреплении из плоскости изгиба в промежуточных точках растянутой кромки элемента на участке $l_р$ коэффициент φ_M, вычисляемый по формуле (10.20), следует умножать на коэффициент $k_{пM}$, вычисляемый по формуле

$$k_{пM} = 1 + \left[0{,}142\frac{l_р}{h} + 1{,}76\frac{h}{l_р} + 1{,}4\alpha_р - 1\right]\frac{m^2}{m^2+1}, \quad (10.21)$$

где $\alpha_р$ — центральный угол в радианах, определяющий участок $l_р$ элемента кругового очертания (для прямолинейных элементов $\alpha_р = 0$);

m — число подкрепленных (с одинаковым шагом) точек растянутой кромки на участке $l_р$ (при $m \ge 4$ величину $\frac{m^2}{m^2+1}$ следует принимать равной 1).

10.2.13 Расчет внецентренно растянутых и растянуто-изгибаемых элементов по нормальным напряжениям выполняют по формуле

$$\frac{N}{F_{расч}} + \frac{M \cdot R_р}{W_{расч} \cdot R_и} \le R_р, \quad (10.22)$$

где $F_{расч}$ — площадь расчетного сечения нетто;

$W_{расч}$ — расчетный момент сопротивления поперечного сечения.

10.2.14 Расчет на прочность по нормальным напряжениям внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов выполняют по формуле

$$\frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_д}{W_{расч}} \le R_с, \quad (10.23)$$

где $M_д$ — изгибающий момент от действия поперечных и продольных нагрузок, определяемый из расчета по деформированной схеме.

Для шарнирно-опертых сжато-изгибаемых и внецентренно сжатых элементов при симметричных эпюрах изгибающих моментов синусоидального, параболического, полигонального и близких к ним очертаний, а также для консольных элементов $M_д$ допускается выполнять по формуле

$$M_д = \frac{M}{\xi}, \quad (10.24)$$

где M — изгибающий момент в расчетном сечении без учета дополнительного момента от продольной силы;

ξ — коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, рассчитываемый по формуле

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c F_{бр}}, \quad (10.25)$$

где φ — коэффициент, рассчитываемый по формуле (10.5).

В тех случаях, когда в шарнирно-опертых элементах эпюры изгибающих моментов имеют треугольное или прямоугольное очертание, коэффициент по формуле (10.25) следует умножать на поправочный коэффициент $k_н$ вычисляемый по формуле

$$k_н = \alpha_н + \xi \cdot (1 - \alpha_н), \quad (10.26)$$

где $\alpha_н$ — коэффициент, который следует принимать равным 1,22 при эпюрах изгибающих моментов треугольного очертания (от сосредоточенной силы) и 0,81 — при эпюрах прямоугольного очертания (от постоянного изгибающего момента).

При несимметричной нагрузке шарнирно-опертых элементов величину изгибающего момента $M_д$ допускается вычислять по формуле

$$M_д = \frac{M_с}{\xi_с} + \frac{M_к}{\xi_к}, \quad (10.27)$$

где $M_с$ и $M_к$ — изгибающие моменты в расчетном сечении элемента от симметричной и кососимметричной составляющих нагрузки;

$\xi_с$ и $\xi_к$ — коэффициенты, рассчитываемые по формуле (10.25) при величине гибкости, соответствующей симметричной и кососимметричной формам продольного изгиба.

Сжато-изгибаемые элементы следует проверять также на устойчивость без учета изгибающего момента по формуле (10.3) при условии

$$\frac{\sigma_и}{\sigma_с} < 0{,}1,$$

где $\sigma_и$ — напряжение от изгибающего момента;

$\sigma_с$ — напряжение от продольной силы сжатия.

10.2.15 Расчет на прочность по скалыванию сжато-изгибаемых элементов следует выполнять по формуле (10.13), внецентренно сжатых по формуле

$$\frac{Q \cdot S'_{бр}}{I_{бр} \cdot b_{расч}} + \Delta\tau \le R_{ск}, \quad (10.28)$$

где Q — расчетная поперечная сила;

$S'_{бр}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$ — момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$b_{расч}$ — расчетная ширина сечения элемента;

$$\Delta\tau = \frac{0{,}75Ne}{b \cdot h^2};$$

здесь e — эксцентриситет передачи усилия N;

$R_{ск}$ — расчетное сопротивление скалыванию при изгибе.

10.2.16 Криволинейные (гнутоклееные) участки сжато-изгибаемых клееных деревянных конструкций следует рассчитывать по формулам гнутых элементов (см. 10.2.11):

а) напряжение на внутренней кромке по формуле

$$\sigma_{\theta\,в} = \frac{M_д \cdot (r_0 - r_1)}{F \cdot y_0 \cdot r_1} + \frac{N}{F}, \quad (10.29)$$

б) напряжение на наружной кромке по формуле

$$\sigma_{\theta\,н} = \frac{M_д \cdot (r_2 - r_0)}{F \cdot y_0 \cdot r_2} - \frac{N}{F}, \quad (10.30)$$

где N и $M_д$ — абсолютные значения внутренних усилий.

10.2.17 Расчет на устойчивость плоской формы деформирования сжато-изгибаемых элементов выполняют по формуле

$$\frac{N}{\varphi \cdot R_с \cdot F_{бр}} + \left(\frac{M_д}{\varphi_M \cdot R_и \cdot W_{бр}} \right)^n \le 1, \quad (10.31)$$

где φ — коэффициент продольного изгиба, определяемый по формуле (10.5) для гибкости участка элемента с расчетной длиной $l_р$ из плоскости деформирования;

$F_{бр}$ — площадь брутто с максимальными размерами сечения элемента на участке $l_р$;

φ_M — коэффициент, определяемый по формуле (10.20);

$n = 2$ — для элементов без закрепления растянутой зоны из плоскости деформирования и $n = 1$ для элементов, имеющих такие закрепления.

При наличии в элементе на участке $l_р$ закреплений из плоскости деформирования со стороны, растянутой от момента M кромки, коэффициент φ_M следует умножать на коэффициент $k_{пM}$, рассчитываемый по формуле (10.21), а коэффициент φ_M — на коэффициент $k_{пN}$ по формуле

$$k_{пN} = 1 + \left[0{,}75 + 0{,}06 \left(\frac{l_р}{h} \right)^2 + 0{,}6\alpha_р \cdot \frac{l_р}{h} - 1 \right] \cdot \frac{m^2}{m^2 + 1}, \quad (10.32)$$

где $\alpha_р$, $l_р$, h, m — в соответствии с 10.2.12.

10.2.18 В составных сжато-изгибаемых элементах следует проверять устойчивость наиболее напряженной ветви, если ее расчетная длина превышает семикратную толщину ветви, по формуле

$$\frac{N}{F_{бр}} + \frac{M}{W_{бр}} \le \varphi_1 \cdot R_с, \quad (10.33)$$

где $F_{бр}$, $W_{бр}$ — площадь и момент сопротивления брутто поперечного сечения элемента;

φ_1 — коэффициент продольного изгиба для отдельной ветви, вычисленный по ее расчетной длине l_1 (см. 10.2.6).

Устойчивость сжато-изгибаемого составного элемента из плоскости изгиба следует проверять по формуле (10.3) без учета изгибающего момента.

10.2.19 Число срезов связей $n_с$, равномерно расставленных в каждом шве сжато-изгибаемого составного элемента на участке с однозначной эпюрой поперечных сил, при приложении сжимающей силы по всему сечению вычисляют по формуле

$$n_с \ge \frac{1{,}5 M_д \cdot S'_{бр}}{T \cdot I_{бр}}, \quad (10.34)$$

где $M_д$ — изгибающий момент, определяемый по 10.2.14;

$S'_{бр}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

T — расчетная несущая способность одной связи в данном шве;

$I_{бр}$ — момент инерции брутто поперечного сечения элемента.

10.2.20 Для определения расчетной длины прямолинейных элементов, загруженных продольными силами по концам, коэффициент μ_0 следует принимать равным:

- при шарнирно-закрепленных концах, а также при шарнирном закреплении в промежуточных точках элемента — 1;

- одном шарнирно-закрепленном и другом защемленном конце — 0,8;
- одном защемленном и другом свободном нагруженном конце — 2,2;
- обоих защемленных концах — 0,65.

В случае равномерно распределенной по длине элемента продольной нагрузке коэффициент μ_0 следует принимать равным:

- при обоих шарнирно-закрепленных концах — 0,73;
- одном защемленном и другом свободном конце — 1,2.

Расчетную длину пересекающихся элементов, соединенных между собой в месте пересечения, следует принимать равной:

а) при проверке устойчивости в плоскости конструкций — расстоянию от центра узла до точки пересечения элементов;

б) проверке устойчивости из плоскости конструкции в случае пересечения:

1) двух сжатых элементов — полной длине элемента;

2) сжатого элемента с неработающим элементом, которая соответствует величине l_1, умноженной на коэффициент μ_0, рассчитываемый по формуле

$$\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{l_1 \cdot \lambda_1^2 \cdot F_2}{l_2 \cdot \lambda_2^2 \cdot F_1}}}, \qquad (10.35)$$

где l_1 — полная длина сжатого элемента;

λ_1 — гибкость сжатого элемента;

F_1 — площадь поперечного сечения сжатого элемента;

l_2 — полная длина неработающего элемента;

λ_2 — гибкость неработающего элемента;

F_2 — площадь поперечного сечения неработающего элемента.

Величину μ_0 следует принимать не менее 0,5;

3) сжатого элемента с элементом, растянутым равной по величине силой, — наибольшей длине сжатого элемента, измеряемой от центра узла до точки пересечения элементов.

10.2.21 Гибкость элементов и их отдельных ветвей в деревянных конструкциях не должна превышать значений, указанных в таблице 10.3.

Таблица 10.3

Наименование элементов конструкций	Предельная гибкость $\lambda_{макс}$
1 Сжатые пояса, опорные раскосы и опорные стойки ферм, колонны	120
2 Прочие сжатые элементы ферм и других сквозных конструкций	150
3 Сжатые элементы связей	200
4 Растянутые пояса ферм в вертикальной плоскости	150
5 Прочие растянутые элементы ферм и других сквозных конструкций	200
6 Основные элементы (стойки, приставки, опорные раскосы)	150
7 Прочие элементы	175
8 Связи	200

10.2.22 Приопорные участки клееных деревянных балок с соотношением сторон $\frac{h_{оп}}{b} \geq 4$, а также участки в местах действия сосредоточенных сил кроме остальных расчетов должны быть рассчитаны на прочность по главным площадкам с учетом всех компонент плоского напряженного состояния. Значение главного растягивающего напряжения σ_1 вычисляют по формуле

$$\sigma_1 = 0{,}5 \cdot \left[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + 4\tau_{xy}^2}\right] \leq R_{p\alpha}, \qquad (10.36)$$

где σ_x, σ_y, τ_{xy} — компоненты плоского напряженного состояния;

$R_{p\alpha}$ — расчетное значение сопротивления древесины при растяжении под углом α к направлению волокон, определяемое по разделу 9.

Угол наклона направления главного растягивающего напряжения σ_1 к волокнам древесины вычисляют по формуле

$$\alpha = \begin{cases} 0{,}5\,\text{arctg}\left[\dfrac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}\right] \text{ при } \sigma_x - \sigma_y > 0 \\ 45^\circ \text{ при } \sigma_x - \sigma_y = 0 \\ 0{,}5 \cdot \left\{180^\circ + \text{arctg}\left[\dfrac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}\right]\right\} \text{ при } \sigma_x - \sigma_y < 0 \end{cases}. \quad (10.37)$$

10.2.23 Величину наибольших нормальных растягивающих поперек волокон древесины напряжений σ_y в приопорных зонах и окрестностях действия сосредоточенных поперечных сил P, как показано на рисунке 10.4, рассчитывают по формуле

$$\sigma_y = \sigma_{p90} = \frac{2P \cdot \eta_1}{b \cdot h_{оп}}, \quad (10.38)$$

где P — сосредоточенная сила (опорная реакция балки, давление от подвесного оборудования, усилие сжатия в стойке фермы и т. д.);

η_1 — ордината положительной части кривой распределения нормальных напряжений σ_y от единичной сосредоточенной силы по рисунку 10.4;

b — ширина поперечного сечения элемента;

$h_{оп}$ — высота поперечного сечения элемента.

Ординату η_1 в интервале $-0{,}25h_{оп} \le y \le +0{,}25h_{оп}$ рассчитывают по формуле

$$\eta_1 = \left(\frac{y}{h_{оп}}\right)^3 + 0{,}1\left(\frac{y}{h_{оп}}\right)^2 + 0{,}016, \quad (10.39)$$

где y — расстояние до нейтрального слоя.

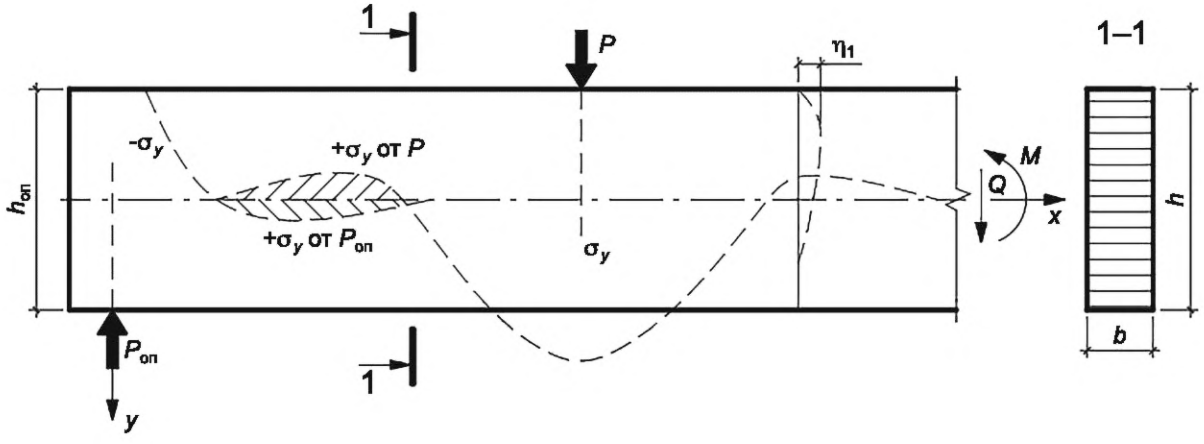


Рисунок 10.4 — Схема распределения напряжений σ_y в приопорной зоне балки

10.2.24 При передаче поперечной силы не по кромке элемента, а по части высоты торца нормальное напряжение σ_y, растягивающее древесину, умножают на коэффициент 1,4.

10.2.25 При невыполнении условия формулы (10.36) необходима установка вклеенных стержней под углом β = 40° – 45° к волокнам древесины. Главное растягивающее усилие $N_р$, воспринимаемое наклонными стержнями, рассчитывают по формуле

$$N_р = 2 \cdot (\sigma_1 - 0{,}8R_{р\alpha}) \cdot b \cdot h_{оп}. \quad (10.40)$$

Вклеенные стержни следует устанавливать с одинаковым шагом на длине опасной зоны, равной $0{,}7h_{оп}$, отстоящей от оси опоры на расстоянии, равном $h_{оп}$. Первый наклонный стержень должен пересекать нейтральную ось балки на расстоянии $x = 1{,}1h_{оп}$ от оси опоры. Длина анкеровки стержней должна быть не менее $0{,}7\frac{h_{оп}}{\cos\beta}$.

Для высоких балок допускается двухстороннее вклеивание стержней со стороны нижней и верхней граней. Минимальное расстояние между стержнями $5d$, величина перехлеста стержней не менее $15d$, где d — номинальный диаметр стержней.

10.3 Расчет элементов деревянных конструкций по предельным состояниям 2-й группы

10.3.1 Деформации деревянных конструкций или их отдельных элементов следует определять с учетом сдвига и податливости соединений. Деформацию податливого соединения при полном использовании его несущей способности следует принимать по таблице 10.4, а при неполном — пропорциональной действующему на соединение усилию.

Деформацию податливого соединения следует делить на коэффициенты условия работы $m_в$, $m_{дл}$.

Таблица 10.4

Вид соединения	Деформация соединения, мм
Лобовые врубки и торец в торец	1,5
Примыкания поперек волокон	3
Нагели всех видов	2
Стержни, вклеенные перпендикулярно к плоскости сплачивания	1,5
Наклонно вклеенные стержни	0,5
Клеевые соединения	0

10.3.2 Прогибы и перемещения элементов конструкций не должны превышать предельных, установленных в ГОСТ 33384.

10.3.3 Прогиб изгибаемых элементов следует определять по моменту инерции поперечного сечения брутто.

Наибольший прогиб шарнирно-опертых и консольных изгибаемых элементов постоянного сечений f вычисляют по формуле

$$f = f_0 \cdot \left[1 + c \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2\right], \quad (10.41)$$

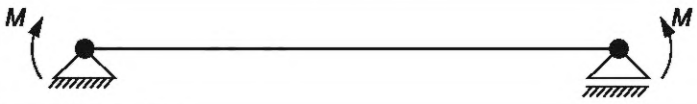
где f_0 — прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига;

c — коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы по таблице 10.5;

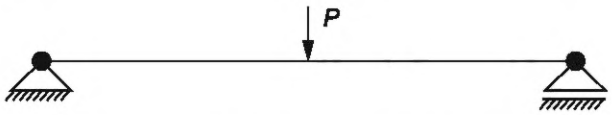
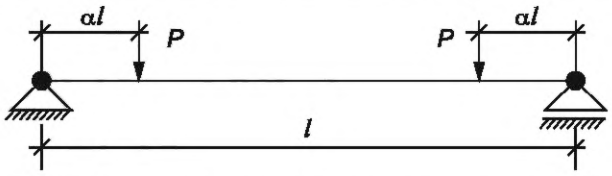
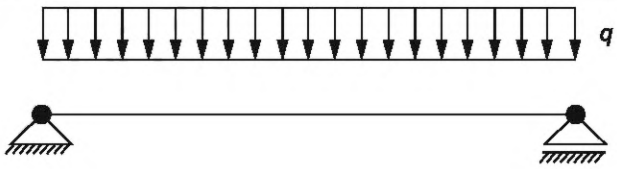
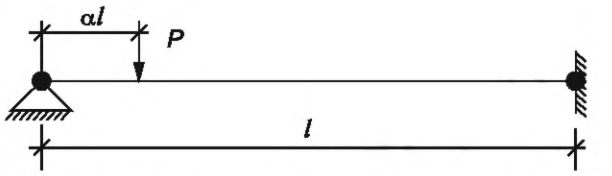
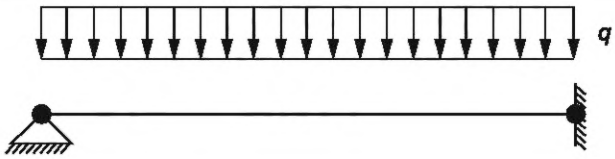
h — наибольшая высота сечения;

l — пролет балки.

Таблица 10.5

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	Коэффициент c
Прямоугольное		0

Окончание таблицы 10.5

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	Коэффициент *c*
Прямоугольное		24
		$\frac{48}{3-4\alpha^2}$
		19.2
		$\frac{12}{(2+\alpha)\cdot(1-\alpha)}$
		8

10.3.4 Прогиб сжато-изгибаемых шарнирно-опертых симметрично нагруженных элементов и консольных элементов следует определять из расчета по деформированной схеме.

Допускается прогиб $f_д$ рассчитывать по формуле

$$f_д = \frac{f}{\xi}, \tag{10.42}$$

где f — прогиб, определяемый по формуле (10.41);

ξ — коэффициент, определяемый по формуле (10.25).

10.3.5 Ограничение частот собственных колебаний необходимо предусматривать по СП 35.13330 и ГОСТ 33384.

11 Расчет соединений элементов деревянных конструкций

11.1 Общие положения

11.1.1 Расчет соединений следует проводить на усилия, полученные в элементах при расчетах по первой группе предельных состояний в соответствии разделом 10.

11.1.2 Действующее на соединение усилие не должно превышать расчетной несущей способности соединения *T*.

11.1.3 Расчетную несущую способность соединений *T*, работающих на смятие и скалывание, следует определять:

а) из условия смятия древесины по формуле

$$T = R_{см\alpha} \cdot F_{см}, \tag{11.1}$$

где $R_{см\alpha}$ — расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон;

$F_{см}$ — расчетная площадь смятия;

б) из условия скалывания древесины по формуле

$$T = R_{ск}^{ср} \cdot F_{ск}, \quad (11.2)$$

где $R_{ск}^{ср}$ — расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон, определяемое по 11.1.4;

$F_{ск}$ — расчетная площадь скалывания.

11.1.4 Среднее по площадке скалывания расчетное сопротивление древесины скалыванию $R_{ск}^{ср}$ вычисляют по формуле

$$R_{ск}^{ср} = \frac{R_{ск}}{1+\beta\frac{l_{ск}}{e}}, \quad (11.3)$$

где $R_{ск}$ — расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (при расчете по максимальному напряжению), определяемое по разделу 9;

β — коэффициент, принимаемый равным:

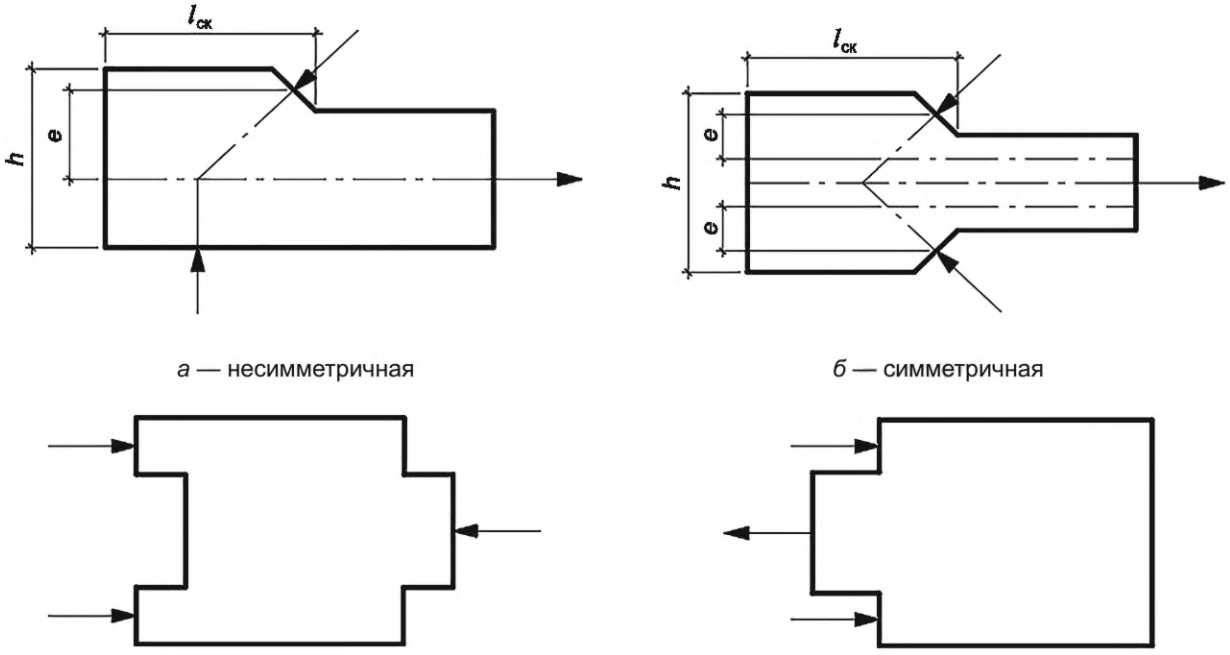
- 0,25 при расчете соединений, работающих по схеме, показанной на рисунке 11.1 *г*;
- 0,125 при расчете соединений, работающих по схеме согласно рисунку 11.1 *в*, если обеспечено обжатие по плоскостям скалывания;

$l_{ск}$ — расчетная длина плоскости скалывания, принимаемая не более 10-кратной глубины врезки в элемент;

e — плечо сил скалывания, принимаемое равным:

- 0,5h при расчете элементов с несимметричной врезкой в соединениях без зазора между элементами (см. рисунок 11.1 *а*);
- 0,25h при расчете симметрично загруженных элементов с симметричными врезками (см. рисунок 11.1 *б*), где h — полная высота поперечного сечения элемента.

Должно быть выполнено условие $\frac{l_{ск}}{e} \geq 3$.



а — несимметричная

б — симметричная

в, г — схемы скалывания в соединениях

Рисунок 11.1 — Врезки в элементах соединений

11.2 Соединения на врубках

11.2.1 Узловые соединения на лобовых врубках следует выполнять с одним зубом (см. рисунок 11.2).

Рабочая плоскость смятия во врубках при соединении элементов, не испытывающих поперечного изгиба, должна быть расположена перпендикулярно к оси примыкающего сжатого элемента. Если примыкающий элемент помимо сжатия испытывает поперечный изгиб, рабочую плоскость смятия во врубках следует располагать перпендикулярно к равнодействующей осевой и поперечной сил.

Элементы, соединяемые на лобовых врубках, должны быть стянуты болтами.

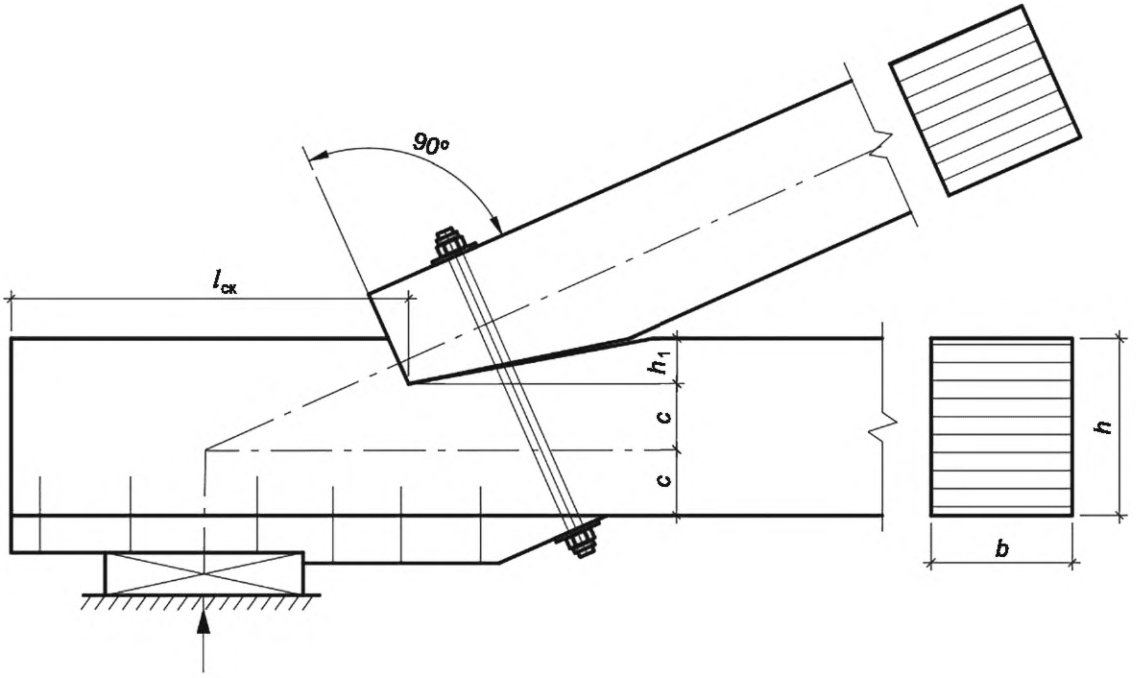


Рисунок 11.2 — Лобовая врубка с одним зубом

11.2.2 Лобовые врубки следует рассчитывать на скалывание согласно 11.1.2 и 11.1.3.

11.2.3 Длину площадки скалывания $l_{ск}$ лобовых врубок следует принимать не менее 1,5h где h — полная высота сечения скалываемого элемента.

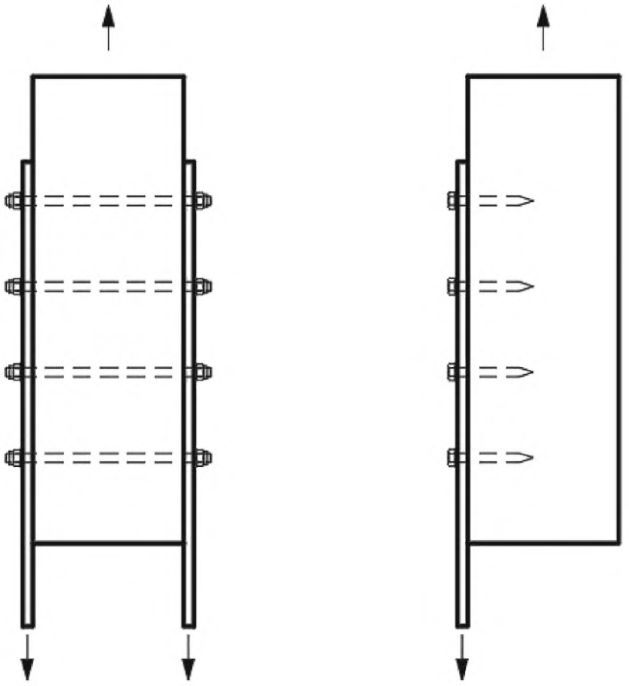
Глубину врубки следует принимать не более 1/4h в промежуточных узлах сквозных конструкций и не более 1/3h в остальных случаях, при этом глубина врубок h_1 в брусьях должна быть не менее 2 см.

11.2.4 Расчет на смятие лобовых врубок с одним зубом следует проводить по плоскости смятия (см. рисунок 11.2). Угол смятия древесины α следует принимать равным углу между направлениями сминающего усилия и волокон сминаемого элемента.

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом к волокнам для лобовых врубок следует определять по формуле (9.3), независимо от размеров площади смятия.

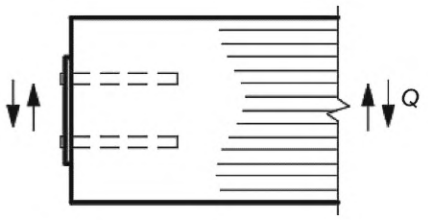
11.3 Соединения на цилиндрических нагелях

11.3.1 Цилиндрическими нагелями называются болты, шпильки, нагели, гвозди, шурупы, глухари, саморезы и т. п. в соединениях клееных элементов, работающих на сдвиг (см. рисунки 11.3—11.5).



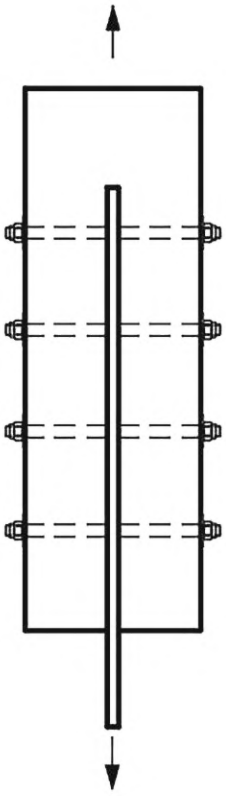
а — на болтах и шпильках

б — на глухих цилиндрических нагелях

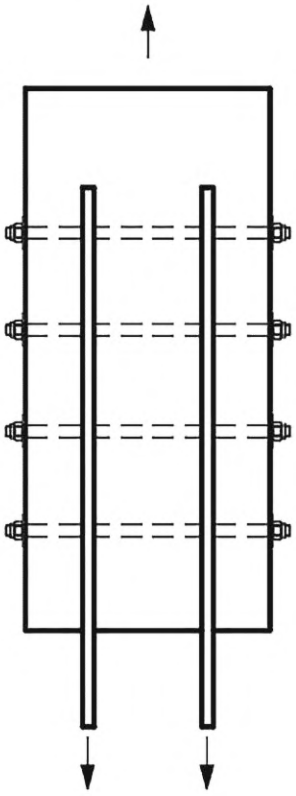


в — на глухих цилиндрических нагелях, установленных в торец клееного элемента

Рисунок 11.3 — Нагельные соединения с накладками

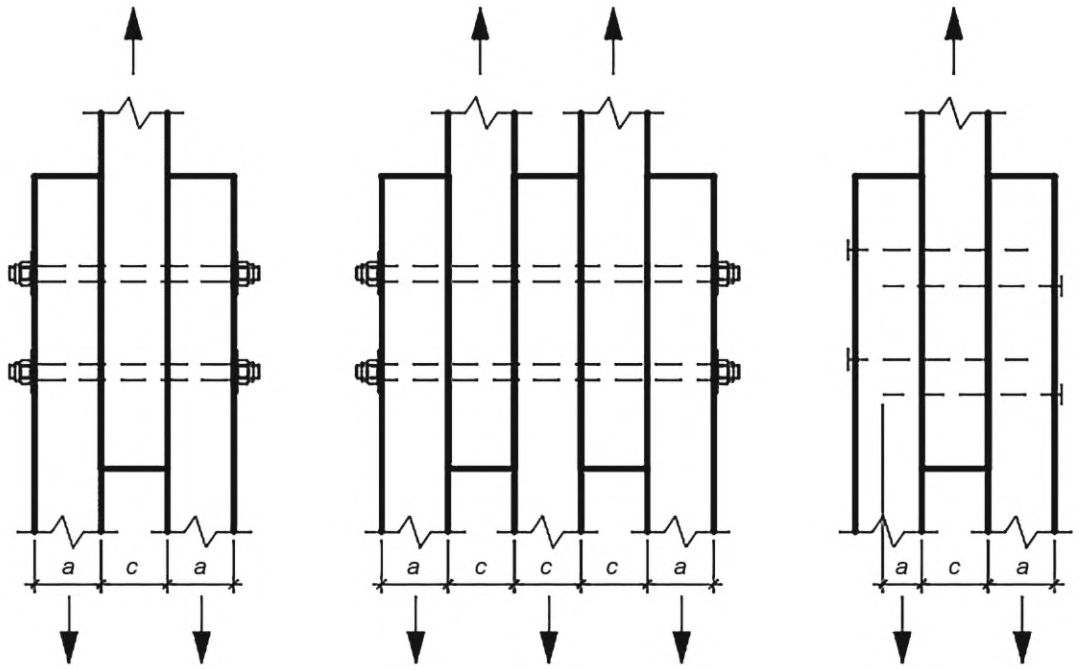


а — на нагелях

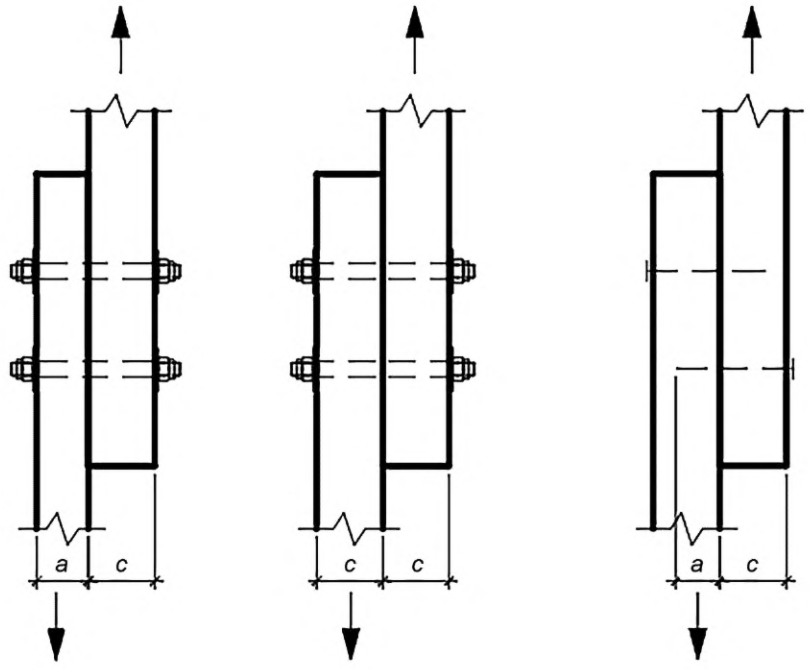


б — на нагелях и шпильках

Рисунок 11.4 — Нагельные соединения с прокладками



а — симметричные



б — несимметричные

Рисунок 11.5 — Виды соединений по конструктивному сочетанию нагелей и соединяемых деревянных элементов

11.3.2 Расчетную несущую способность цилиндрического нагеля T на один шов сплачивания определяют по формуле

$$T = \min\begin{cases} T_{см} \\ T_{и} \\ T_{и.т} \end{cases}, \qquad (11.4)$$

где $T_{см}$ — несущая способность на смятие древесины под нагелем, определяемая по 11.3.3;
$T_{и}$ — несущая способность нагеля в расчете на изгиб, определяемая по 11.3.4;
$T_{и.т}$ — несущая способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце, определяемая по 11.3.5.

11.3.3 Несущую способность на смятие древесины под нагелем $T_{см}$ вычисляют по формуле

$$T_{см} = T_{см.н} \cdot k_{\alpha} \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i, \quad (11.5)$$

где $T_{см.н}$ — наименьшая несущая способность, вычисляемая по данным таблицы 11.1;
k_{α} — коэффициент усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам [при расчете на смятие древесины под нагелем следует определять по таблице 11.2 (для смятия под гвоздем, для смятия под нагелем в торце k_{α} =1)];
$m_{дл}$ — коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения по таблице 9.2;
Πm_i — произведение коэффициентов условий работы по 9.9, перечисления а), б), д).

11.3.4 Несущую способность нагеля на изгиб (условный срез) $T_{и}$ вычисляют по формуле

$$T_{и} = T_{и.н} \cdot \sqrt{k_{\alpha} \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i} \cdot m_{и}, \quad (11.6)$$

где $T_{и.н}$ — исходя из вида соединения:
- наименьшее значение несущей способности в соединениях без стальных накладок, вычисляемое по данным таблицы 11.1;
- наибольшее значение несущей способности в соединениях со стальными накладками и прокладками, вычисляемое по данным таблицы 11.1;

k_{α} — коэффициент усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам, [при расчете на изгиб нагеля следует определять по таблице 11.2, угол α следует принимать равным большему из углов смятия нагелем элементов, прилегающих к рассматриваемому шву (кроме нагеля, работающего в торце)];
$m_{дл}$, Πm_i — см. 11.3.3;
$m_{и}$ — коэффициент по 11.3.9.

11.3.5 Несущую способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце $T_{и.т}$ вычисляют по формуле

$$T_{и.т} = T_{и.н} \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{k_{\alpha} \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i} \cdot m_{и}, \quad (11.7)$$

где $T_{и.н}$ — см. 11.3.4;
k_{α} — коэффициент усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам (при расчете на смятие древесины в нагельном гнезде следует определять по таблице 11.2);
$m_{дл}$ и Πm_i — см. 11.3.3;
$m_{и}$ — коэффициент по 11.3.9.

Таблица 11.1

Схема соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность нагеля T на один шов сплачивания (условный срез), кН
1 Симметричные соединения (рисунок 11.3 *а*)	а) Смятие в средних элементах	0,75*cd*
	б) Смятие в крайних элементах	1,2*ad*
2 Несимметричные соединения (рисунок 11.3 *б*)	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	0,55*cd*
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \le 0{,}5c$	0,4*cd*
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \le 0{,}35c$	1,2*ad*

Окончание таблицы 11.1

Схема соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность нагеля T на один шов сплачивания (условный срез), кН
2 Несимметричные соединения (рисунок 11.3 *б*)	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0{,}35c$	$1{,}5k_n ad$
3 Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб гвоздя	$3{,}1d^2 + 0{,}012a^2$, но не более $5d^2$
	б) Изгиб нагеля из стали С235 и арматуры А240 (R_{un} = 440 МПа)	$2{,}2d^2 + 0{,}025a^2$, но не более $3{,}1d^2$
4 Торцевые соединения с металлической накладкой с жестким креплением нагелей (рисунок 11.3 *в*)	Изгиб нагеля из стали С235 и арматуры А240 (R_{un} = 440 МПа)	$2d^2$

Примечания

1 В настоящей таблице применены следующие обозначения:

- c — толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений, см;
- a — толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений, см;
- d — диаметр нагеля, см.

2 Расчетную несущую способность нагеля в двухсрезных несимметричных соединениях при неодинаковой толщине элементов следует определять с учетом следующего:

- расчетную несущую способность нагеля из условия смятия в среднем элементе толщиной c при значениях $c > a > 0{,}5c$ следует определять интерполяцией между значениями по пунктам 2 а) и 2 б);
- при толщине крайних элементов $a > c$ расчетную несущую способность нагеля следует определять из условия смятия в крайних элементах по пункту 2 а) настоящей таблицы с заменой c на a;
- при определении расчетной несущей способности из условий изгиба нагеля толщину крайнего элемента a в пункте 3 следует принимать не более $0{,}6c$.

3 Значения коэффициента k_n для определения расчетной несущей способности при смятии в более тонких элементах односрезных соединений при $c \geq a \geq 0{,}5c$ приведены в таблице 11.3.

4 Расчетную несущую способность нагеля в рассматриваемом шве следует принимать равной меньшему из всех значений, полученных по формулам данной таблицы.

5 Для гвоздей, установленных в предварительно рассверленные отверстия диаметром, равным диаметру гвоздя, несущую способность по изгибу определяют как для нагеля из стали С235.

Таблица 11.2

Угол, град	Коэффициент k_α для стальных нагелей диаметром, мм			
	До 12	16	20	24
30	0,95	0,9	0,9	0,9
60	0,75	0,7	0,65	0,6
90	0,7	0,65	0,55	0,5

Примечания

1 Значение k_α для промежуточных углов определяют интерполяцией.

2 При расчете односрезных соединений для более толстых элементов, работающих на смятие под углом, значение k_α следует умножать на дополнительный коэффициент:

- 0,9 при $\frac{c}{a} < 1{,}5$;
- 0,75 при $\frac{c}{a} \geq 1{,}5$.

11.3.6 Диаметр нагеля d следует назначать из условия наиболее полного использования его несущей способности по изгибу.

11.3.7 Несущую способность шурупов и глухарей, при расстоянии от плоскости сплачивания до конца ненарезанной части более чем два диаметра, следует определять по правилам для стальных цилиндрических нагелей. В других случаях расчет на сдвиг следует вести по внутреннему диаметру ослабленного резьбой сечения.

Таблица 11.3

Вид нагеля	Значение коэффициента k_n для односрезных соединений при $\frac{a}{c}$						
	0,35	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Гвоздь, стальной нагель	0,8	0,58	0,48	0,43	0,39	0,37	0,35

Установку шурупов в узловых соединениях элементов из клееной древесины диаметром менее или равным 6 мм осуществляют без предварительного сверления монтажных отверстий. Если диаметр шурупа более 6 мм, в клееной древесине предварительно сверлят монтажные отверстия. Диаметр монтажных отверстий для установки шурупов с неполной резьбой должен быть равным диаметру гладкой части стержня, а глубина — длине гладкой части стержня. Для нарезанной части шурупа диаметр монтажного отверстия принимают 0,7 от диаметра шурупа в резьбовой части.

11.3.8 Расчет нагельных соединений на скалывание проводить не следует, если выполнены условия расстановки нагелей в соответствии с 11.3.14, 11.3.15, 11.3.18.

11.3.9 Расчетную несущую способность цилиндрических нагелей из сталей с временным сопротивлением растяжению $R_{un} > 370$ МПа при расчете на изгиб следует умножать на коэффициент $m_и$, вычисляемый по формуле

$$m_и = 0{,}052\sqrt{R_u}, \tag{11.8}$$

где R_u — расчетное сопротивление стали растяжению по временному сопротивлению, МПа.

11.3.10 Число нагелей $n_н$ в соединении определяют по формуле

$$n_н = \frac{N}{T \cdot m_ц \cdot n_ш} \geq 2, \tag{11.9}$$

где N — расчетное усилие;

T — наименьшая расчетная несущая способность одного нагеля на один расчетный шов по 11.3.2;

$m_ц$ — коэффициент циклической нагрузки согласно 9.8;

$n_ш$ — число расчетных швов одного нагеля.

11.3.11 Нагельное соединение со стальными накладками и прокладками на болтах или глухих цилиндрических нагелях (см. рисунки 11.3, 11.4) допускается применять в тех случаях, когда обеспечена необходимая плотность постановки нагелей.

Глухие стальные цилиндрические нагели должны иметь заглубление в древесину не менее пяти диаметров нагеля и не менее 12,5 диаметров нагеля при установке в торец. В последнем случае диаметр отверстия должен быть на 0,5 мм менее диаметра нагеля. Резьбовая часть нагеля на участке стальной пластины не допускается.

Стальные накладки и прокладки следует проверять на растяжение по ослабленному сечению и на смятие под нагелем по ГОСТ Р 59623.

11.3.12 Несущую способность соединения на цилиндрических нагелях из одного материала, но разных диаметров следует определять как сумму несущих способностей всех нагелей, за исключением растянутых стыков, для которых вводят снижающий коэффициент 0,9.

11.3.13 Для цилиндрических нагелей, при направлении передаваемого нагелем усилия под углом к волокнам, следует учитывать вероятность раскалывания деревянного элемента составляющей усилия, растягивающей древесину поперек волокон ($F_р = F \cdot \sin\alpha$).

Силу, растягивающую деревянный элемент поперек волокон (см. рисунок 11.6 а), рассчитывают по формуле

$$F_р < F^р_{ск.н\ 90}, \tag{11.10}$$

где $F_p = \max\begin{cases} F_{р,1} \\ F_{р,2} \end{cases}$;

$F_{р,1}$ и $F_{р,2}$ — сдвигающие усилия с каждой стороны от соединения;

$F^р_{ск.н\ 90}$ — расчетная несущая способность древесины раскалыванию поперек волокон под воздействием нагельного соединения, Н, которую следует вычислять по формуле

$$F^{р}_{ск.н\ 90} = \frac{F^{н}_{ск.н\ 90} \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i}{\gamma_m}, \quad (11.11)$$

где $F^{н}_{ск.н\ 90}$ — нормативная прочности материала, определенная с обеспеченностью 0,95, Н;

$m_{дл}$ — коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения по таблице 9.2;

Πm_i — произведение коэффициентов условий работы по 9.9;

γ_m — коэффициент надежности по материалу (см. таблицу 9.4).

Нормативную несущую способность древесины раскалыванию поперек волокон под воздействием нагельного соединения $F^{н}_{ск.н\ 90}$, Н, вычисляют по формуле

$$F^{н}_{ск.н\ 90} = 14xwb \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}, \quad (11.12)$$

где x — коэффициент, зависящий от расположения соединения на элементе:

- x = 1 для соединений, расположенных в середине пролета;
- x = 0,5 для соединений, расположенных на торцах и на краю консольного элемента;

w — коэффициент, который следует принимать равным:

- для соединений со стальными накладками с жестким креплением нагелей — 1,4;
- для остальных нагельных соединений — 1;

b — ширина деревянного элемента, мм;

h_e — расстояние от центра наиболее удаленного от края деревянного элемента нагеля до кромки деревянного элемента, мм;

h — высота деревянного элемента, мм.

При $h_e \geq 0{,}7h$ растягивающее усилие учитывать не требуется, прочность соединения определена несущей способностью нагелей.

Для торцевых соединений следует выполнять дополнительную проверку на раскалывание, принимая $h_e = h_{e1}$ (см. рисунок 11.6 *б*).

11.3.14 Расстояние между осями стальных цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины S_1, поперек волокон S_2 и от кромки элемента S_3 — как показано на рисунке 11.7 *а*, *б*.

Расстояния следует принимать не менее:

- $S_1 = 7d$;
- $S_2 = 3{,}5d$;
- $S_3 = 3d$.

При толщине пакета b менее $10d$ (см. рисунок 11.7 и для клееных элементов, с расположением нагелей перпендикулярно к клеевым швам следует принимать:

- $S_1 = 6d$;
- $S_2 = 3d$;
- $S_3 = 2{,}5d$.

11.3.15 Для стальных нагелей, установленных в торец, расстановку следует принимать по рисункам:

- 11.7 *в* — для нагелей, установленных в торец без армирования;
- 11.7 *г* — для нагелей с усилением армированием.

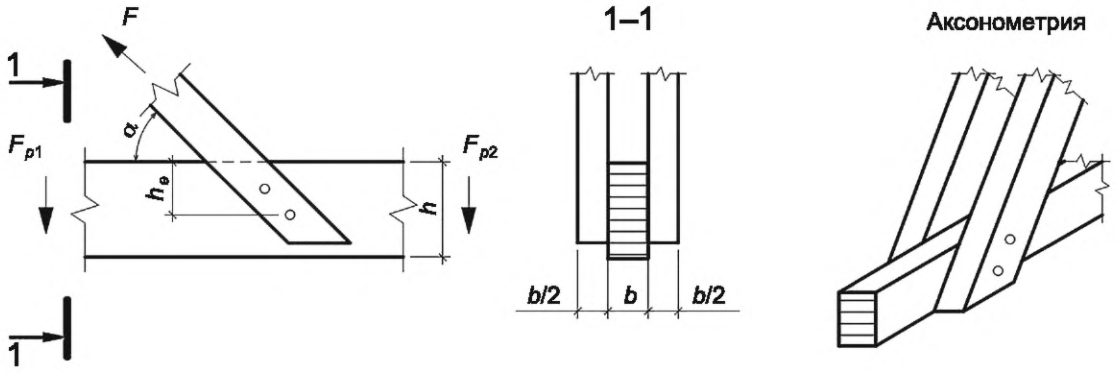
11.3.16 Торцевые нагельные соединения следует применять с усилением армированием вклеенными стержнями или винтами с резьбой по всей длине, как показано на рисунке 11.7 *г*.

11.3.17 При определении расчетной длины защемления конца гвоздя не следует учитывать заостренную часть гвоздя длиной $1{,}5d$; кроме того, из длины гвоздя следует вычитать по 2 мм на каждый шов между соединяемыми элементами.

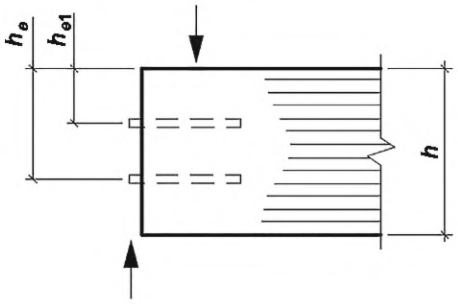
Если расчетная длина защемления конца гвоздя получается менее $4d$, его работу в примыкающем к нему шве учитывать не следует.

При свободном выходе гвоздя из пакета расчетную толщину последнего элемента следует уменьшать на$1{,}5d$ (см. рисунок 11.8).

Диаметр гвоздей следует принимать не более 0,25 толщины пробиваемых элементов.

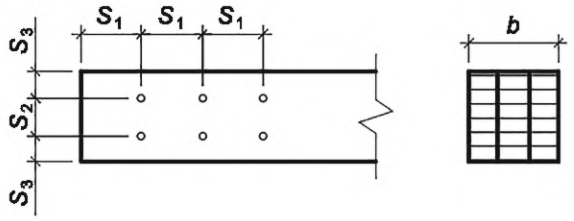


а — соединение по бокам элемента

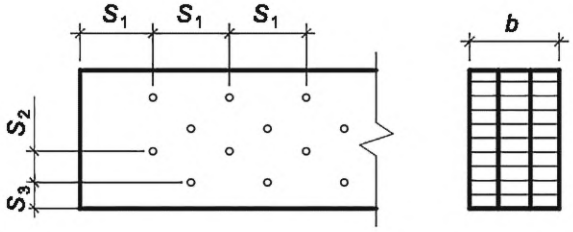


б — соединение в торце элемента

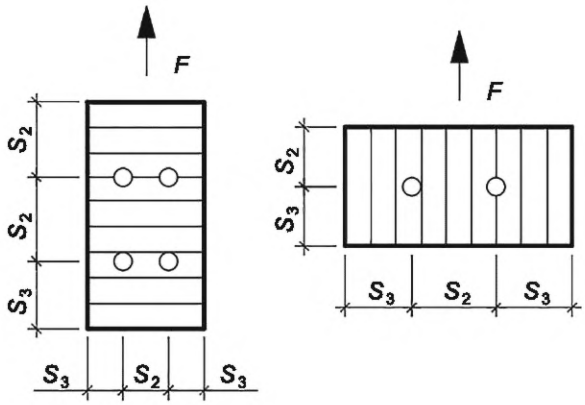
Рисунок 11.6 — Схемы нагельных соединений для расчетов на раскалывание при направлении усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам



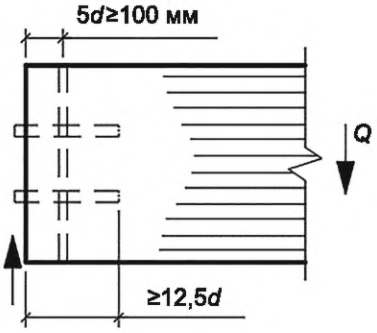
а — прямая



б — в шахматном порядке



в — установленных в торец без армирования



г — то же, с усилением армированием

Рисунок 11.7 — Схемы и расстояния расстановки нагелей

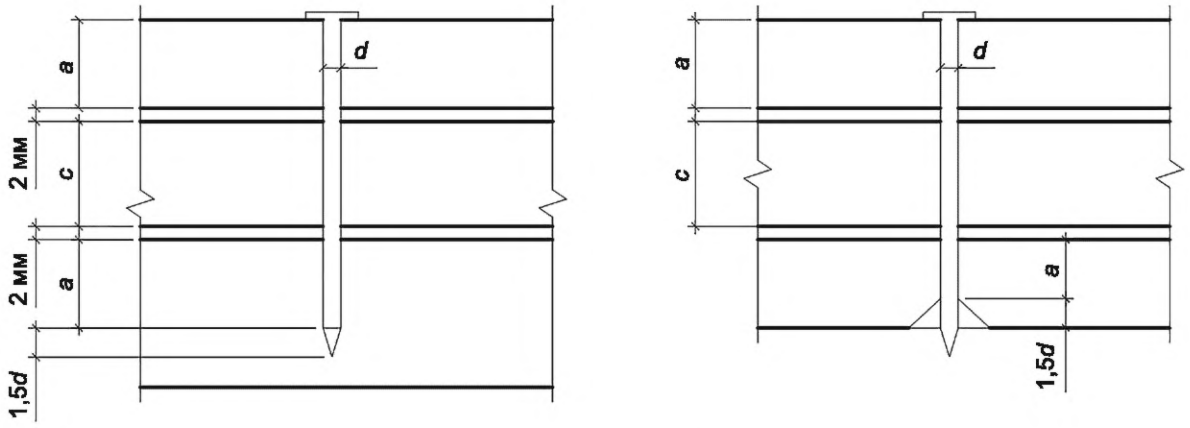


Рисунок 11.8 — Определение расчетной длины защемления конца гвоздя

11.3.18 Расстояние между осями гвоздей вдоль волокон древесины следует принимать не менее:

- $S_1 = 15d$ — при толщине пробиваемого элемента $c \geq 10d$;
- $S_1 = 25d$ — при толщине пробиваемого элемента $c = 4d$.

Для элементов, не пробиваемых гвоздями насквозь, независимо от их толщины, расстояние между осями гвоздей следует принимать $S_1 = 15d$.

Расстояние вдоль волокон древесины от гвоздя до торца элемента во всех случаях следует принимать не менее $S_1 = 15d$.

Расстояние между осями гвоздей поперек волокон древесины при прямой расстановке гвоздей следует принимать не менее $S_2 = 4d$; при шахматной расстановке или расстановке их косыми рядами под углом $a \leq 45°$ (см. рисунок 11.9) расстояние $S_2 = 4d$.

Примечание — Если при встречной забивке гвоздей их концы входят в средний элемент с каждой стороны на глубину не более 2/3 толщины элемента, то расстояние между гвоздями с одной стороны назначают без учета расположения гвоздей с другой стороны.

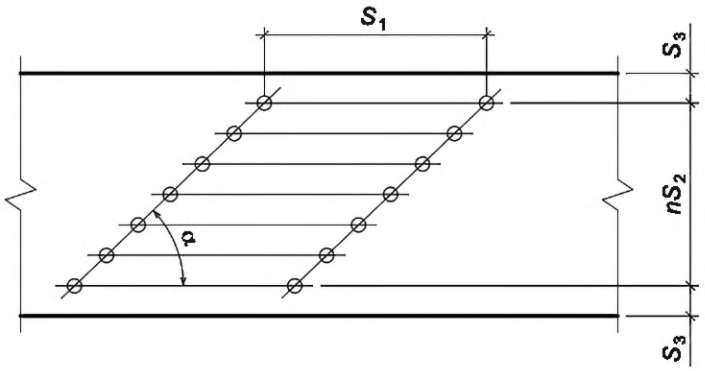


Рисунок 11.9 — Расстановка гвоздей косыми рядами

11.3.19 Гвозди диаметром более 6 мм, гвозди, устанавливаемые в промороженную древесину, а также при толщине деревянного элемента менее $7d$ забивают в предварительно рассверленные отверстия диаметром $0{,}9d$.

Гвозди, забитые в предварительно рассверленные отверстия диаметром, равным диаметру гвоздя, рассчитывают как нагели; минимальные расстояния меду осями гвоздей принимают как для нагелей.

11.4 Соединения на вклеенных стержнях

11.4.1 Общие данные

11.4.1.1 Соединения на вклеенных стержнях являются универсальным видом соединений. Вклеенные стержни используют:

- для устройства узловых сопряжений элементов плоских и пространственных конструкций (опорных узлов, поясов и решетки в фермах, ключевых шарниров в арках, рамах и т. п.);

- устройства жестких равнопрочных стыков сборных изгибаемых, растянутых, сжато-изгибаемых, растянуто-изгибаемых элементов (балок, арок, ферм, рам, защемленных стоек, жестких нитей и т. п.);

- анкеровки закладных деталей, воспринимающих усилия разных направлений;

- восприятия нормальных сжимающих усилий поперек и под углом к волокнам в опорных зонах и местах приложения сосредоточенных нагрузок;

- узловых соединений, воспринимающих сдвиг;

- локализации главных растягивающих напряжений в приопорных зонах клееных деревянных конструкций и зонах приложения сосредоточенных нагрузок;

- увеличения несущей способности участков конструкций, в которых действуют нормальные растягивающие напряжения поперек волокон и касательные напряжения (в приопорных зонах высоких балок, ослаблений врезками, в изгибаемых элементах с криволинейной осью и др.);

- армирования блоков КДК, поперечное сечение которых состоит из двух и более деревянных клееных элементов;

- в виде наклонно вклеенных стержней в качестве связей сдвига;

- для поперечного и наклонного армирования КДК с целью повышения их сдвиговой прочности и надежности, в том числе при переменном температурно-влажностном режиме эксплуатации;

- наклонного армирования с целью повышения сдвиговой выносливости.

Принципиальные конструктивные схемы соединений в узлах и стыках элементов для различных напряженно-деформированных состояний приведены на рисунке 11.10.

11.4.1.2 Стержни, вклеенные под углом к волокну менее чем 20°, рассматривают как вклеенные вдоль волокон, под углом 20° и более — как вклеенные под углом к волокнам. Вклеенные поперек волокон стержни являются частным случаем стержней, вклеенных под углом к волокнам.

11.4.1.3 Диаметр отверстия в древесине должен превышать:

- номинальный диаметр одиночно вклеиваемого стержня из арматуры периодического профиля на 4—5 мм;

- номинальный диаметр группы вклеиваемых стержней, объединенных стальной деталью на сварке, из арматуры периодического профиля на 5—7 мм;

- наружный диаметр нарезанной резьбы гладких вклеенных стержней и диаметр гладких стержней (для вклеенных нагелей) на 2 мм.

11.4.1.4 При определении несущей способности вклеенного стержня принимают меньшее значение из прочности клеевого шва на выдергивание или продавливание и прочности материала стержня.

11.4.1.5 Действующее на вклеенный стержень усилие не должно превышать расчетного значения несущей способности вклеенного стержня.

11.4.1.6 Проверку на прочность арматурных стержней, анкеров, сварных швов, соединительных пластин и других стальных элементов выполняют в соответствии с ГОСТ Р 59622 и ГОСТ Р 59623 соответственно.

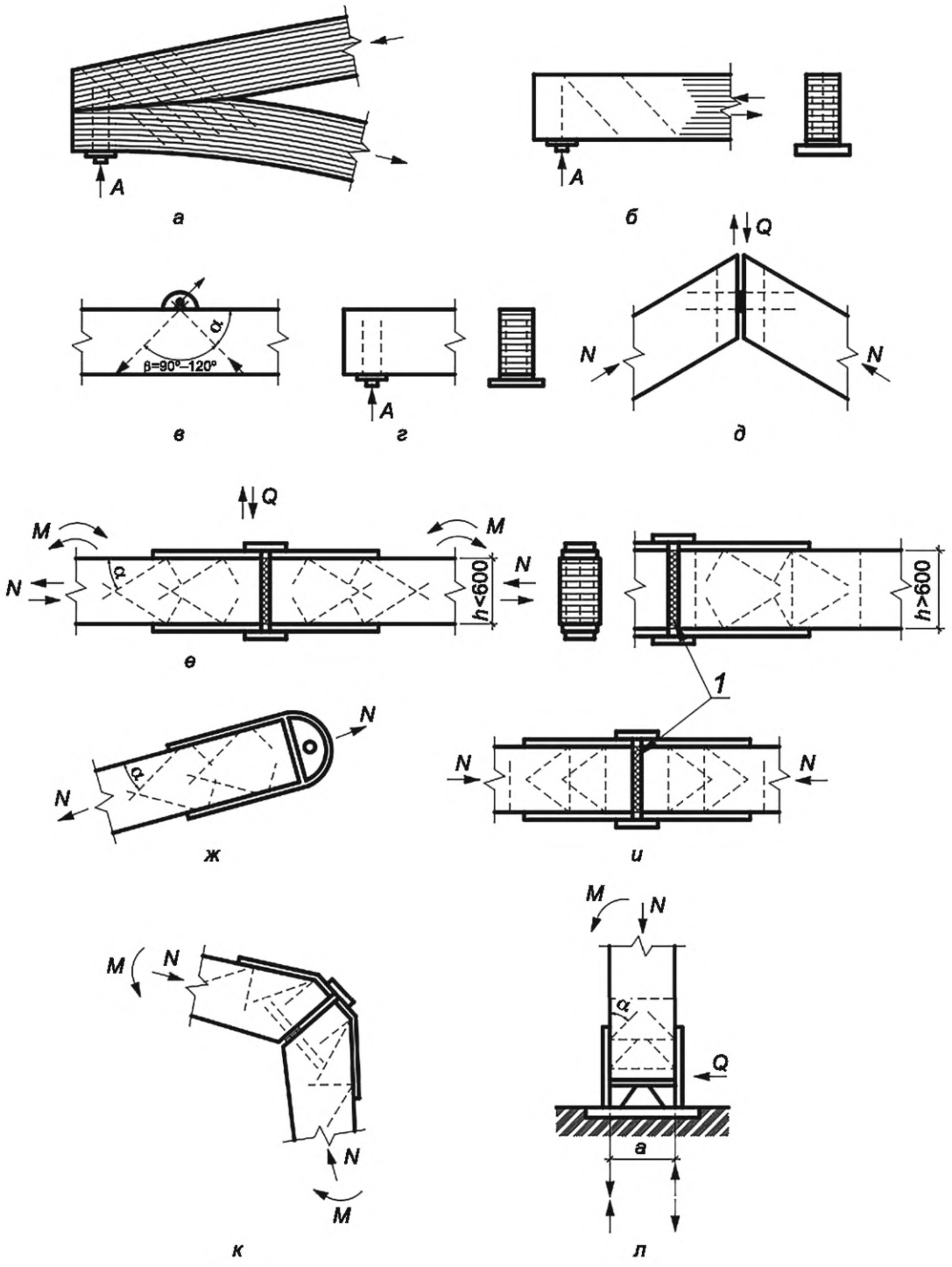
11.4.1.7 При проектировании каркасов зданий и сооружений класса КС-3 (повышенный уровень ответственности) по ГОСТ 27751 и классов функционального назначения 1а, 1б по ГОСТ Р 71595 из КДК на вклеенных стержнях требуется проведение испытаний основных узлов и стыков для оценки несущей способности, проверки технологичности узлов и подтверждения правильности расчетных предпосылок.

11.4.2 Соединения на стержнях, вклеенных вдоль волокон

11.4.2.1 Соединения на стержнях, вклеенных вдоль волокон древесины, допускаются только в комбинации с поперечно или наклонно вклеенными стержнями.

11.4.2.2 Стержни вклеивают в круглые отверстия.

11.4.2.3 Расстояние от края и между осями вклеенных стержней (см. рисунок 11.11), работающих на выдергивание или продавливание вдоль волокон, следует принимать: $S_2 \geq 3d$; $S_3 \geq 2d$, но не менее чем 25 мм при глубине отверстия до 700 мм и не менее 30 мм при большей глубине.



а — связь поясов фермы в опорном узле; *б* — повышение сдвиговой прочности клееной балки; *в* — анкеровка закладных деталей; *г, д* — опорные и другие узлы конструкций; *е* — схема симметричного универсального жесткого стыка элементов высотой $h < 600$ мм, $h > 600$ мм; *ж* — растянутые элементы; *и* — сжатые стыки с полимербетоном; *к* — полигональные элементы, несимметричная схема (карниз рамы); *л* — жесткий узел стойки в опоре; *А* — опорная реакция от расчетной нагрузки; *1* — полимербетон

Рисунок 11.10 — Примеры соединений на наклонно вклеенных стержнях

11.4.2.4 Расчетную несущую способность T, МН, вклеиваемого стержня на выдергивание или продавливание вдоль волокон в растянутых и сжатых стыках элементов деревянных конструкций вычисляют по формуле

$$T = R^{A}_{\text{ск}}\, d_{\text{о}} \pi l_{\text{р}} k_{\text{сд}} m_{\text{дл}} m_{\text{ц}} \Pi m_i \le F_a R_a, \qquad (11.13)$$

где $R^A_{ск}$ — расчетное сопротивление древесины скалыванию, МПа, определяемое по пункту 5 б) таблицы 9.1;

d_o — диаметр отверстия, м;

$l_р$ — расчетная длина стержня, м, вычисляемая по формуле

$$l_р = l - l_o \le 30d, \tag{11.14}$$

где l — длина заделываемой части стержня, м, но не менее $10d$;

$l_o = 3d$ — глубина возможного снижения прочности клеевой прослойки при сварке, для стержней без сварки $l_o = 0$;

d — диаметр вклеиваемого стержня;

$k_{сд}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части стержня, определяемый по формуле

$$k_{сд} = a_c - b_c \frac{l_р}{d}, \tag{11.15}$$

где $a_c = 1{,}2$;

$b_c = 0{,}02$;

$m_{дл}$, $m_ц$, $Пm_i$ — в соответствии с 9.1;

F_a — площадь сечения стержня, м^2;

R_a — расчетное сопротивление стального стержня, МПа.

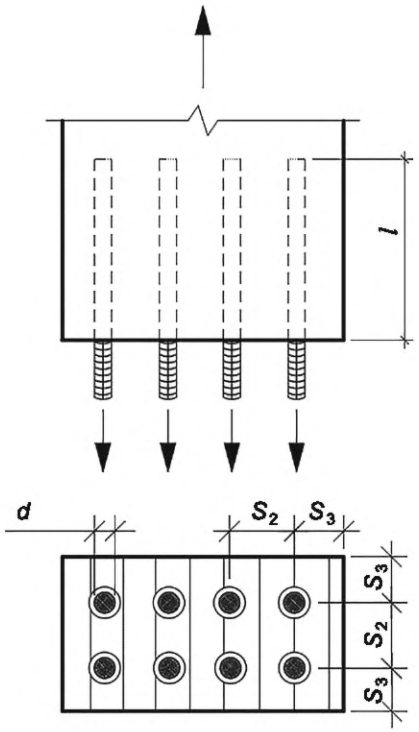


Рисунок 11.11 — Соединения на стержнях из арматуры периодического профиля, вклеенных вдоль волокон

11.4.3 Соединения на стержнях, вклеенных под углом к волокнам

11.4.3.1 Внутренний угол между ветвями анкера принимают от 45° до 120°.

11.4.3.2 При проектировании стыков или узлов конструкций необходимо учитывать особенности конструктивной схемы. Принципиально различаются конструктивные варианты сжатой и растянутой зон стыков сжато-изгибаемых элементов.

11.4.3.3 Наклонно вклеенные стержни следует располагать в соединениях таким образом, чтобы в них возникали (в основном) растягивающие усилия. Возникающие при этом (от разложения сил)

сжимающие усилия должны передаваться на древесину соединительными жесткими пластинами или специально вклеенными стержнями с соответствующей проверкой расчетом.

11.4.3.4 Податливость соединений на наклонно вклеенных стержнях следует принимать 0,01 мм/кН.

11.4.3.5 Стыки и узлы сжато-изгибаемых, растянуто-изгибаемых, изгибаемых и растянутых элементов сборных конструкций следует проверять расчетом и обеспечивать восприятие перерезывающих сил, а также усилий, возникающих при сборке, кантовке, перевозке, складировании и монтаже. Для сжатых стыков большепролетных конструкций, выполненных с заполнением полимербетоном, следует предусматривать специальные конструктивные решения стыков на наклонно вклеенных стержнях, способных воспринимать упомянутые монтажные нагрузки и перерезывающие силы.

11.4.3.6 Расчетную несущую способность $T_{вс\,\alpha}$, МН, вклеиваемого под углом к волокнам стержня на выдергивание или продавливание в стыках КДК вычисляют по формуле

$$T_{вс\,\alpha} = R^A d_о \pi l_р k_{сд} k_\sigma k_d m_{дл} m_ц \Pi m_i \le F_a R_a, \quad (11.16)$$

где R^A — расчетное сопротивление древесины выдергиванию или продавливанию вклеенного стержня, МПа, принимаемое равным 6 МПа;

$d_о$, $l_р$, $k_{сд}$, $m_{дл}$, $m_ц$, Πm_i, F_a, R_a — по 11.4.2.4;

k_σ — коэффициент, зависящий от знака нормальных напряжений вдоль волокон в зоне установки стержней:

а) для стержней, работающих на выдергивание в зоне растягивающих напряжений, действующих вдоль волокон древесины элемента конструкции, значения коэффициента k_σ вычисляют по формуле

$$k_\sigma = 1 - b_\sigma \sigma, \quad (11.17)$$

где $b_\sigma = 0{,}001$;

σ — максимальные растягивающие напряжения, МПа;

б) при работе в других зонах напряжений, а также для стержней, работающих на продавливание,

$$k_\sigma = 1;$$

k_d — коэффициент, учитывающий зависимость расчетного сопротивления от диаметра стержня, определяемый по формуле

$$k_d = a_d - b_d d, \quad (11.18)$$

где $a_d = 1{,}12$;

$b_d = 10$.

11.4.3.7 Минимальное расстояние:

- от боковых граней пакета до оси стержня принимают $2d$ и не менее 25 мм при глубине отверстия до 700 мм и не менее 30 мм при большей глубине;
- между осями стержней по ширине пакета — $2d$;
- от торца пакета вдоль волокон до оси стержня — 100 мм;
- между стержнями вдоль волокон при угле наклона стержней α к направлению волокон менее 30° — $14d$, при α от 30° до 60° — $10d$, при α более 60° — $7{,}5d$.

11.4.4 Соединения, работающие на сдвиг, на стержнях, вклеенных под углом к плоскости сдвига

11.4.4.1 В соединении, работающем на сдвиг, наклонно вклеенные стержни являются связями сдвига. Расчетное сдвигающее усилие $T'_{сд}$, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень, вычисляют по формуле

$$T'_{сд} = \frac{T_{сд}}{n_{в.с} \cdot k_{с.р}}, \quad (11.19)$$

где $T_{сд}$ — расчетное сдвигающее усилие, кН;

$n_{в.с}$ — количество вклеенных стержней;

$k_{с.р}$ — коэффициент совместной работы по 11.4.4.3.

11.4.4.2 В соединении, работающем на сдвиг, при напряжении растяжения пластины (направления усилия сдвига $T_{сд}$), с наклонно вклеенными стержнями, работающими на выдергивание (растяжение), при наличии прижима по плоскости сплачивания или поперечно вклеенного стержня (см. рисунок 11.12), значение расчетного усилия растяжения в наклонно вклеенном стержне $N_р$ должно удовлетворять условию по формуле

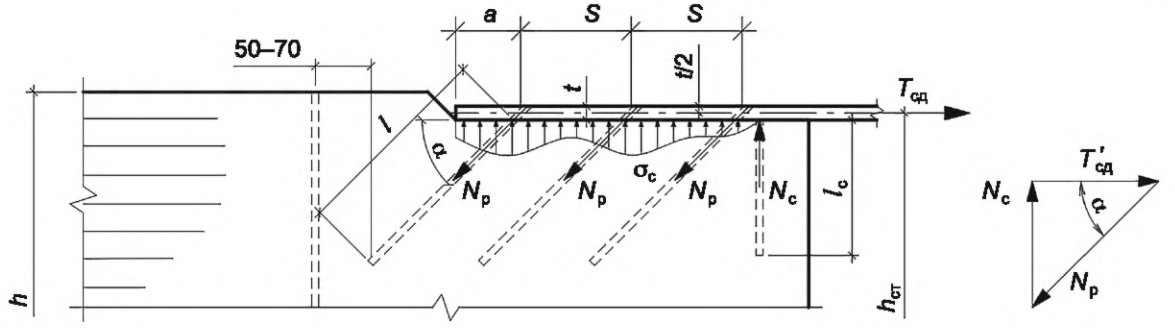
$$N_р = \frac{T'_{сд}}{\cos\alpha} \le T_{вс\ \alpha}, \qquad (11.20)$$

где $T_{вс\ \alpha}$ — несущая способность стержня, работающего на выдергивание по 11.6.6;

α — угол наклона вклеенного стержня к плоскости сдвига.

Усилие прижима $N_с$, соответствующее одному наклонно вклеенному стержню, вызывающее смятие под пластиной $\sigma_{см}$ и сжатие в поперечно вклеенном стержне, вычисляют по формуле

$$N_с = T'_{сд} \cdot \operatorname{tg}\alpha, \qquad (11.21)$$



a — расстояние от края пластины до оси стержня; *h* — высота сечения элемента; $h_{ст}$ — высота сечения стыка; *l* — длина заделываемой части стержня; $l_с$ — длина сжатого стержня; $N_р$ — усилие растяжения; $N_с$ — усилие сжатия; *S* — шаг стержней; $T_{сд}$ — усилие сдвига; $T'_{сд}$ — усилие сдвига, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень; *t* — толщина пластины; α — угол наклона стержней; $\sigma_с$ — напряжение сжатия

Рисунок 11.12 — Работа растянутого при наличии контакта по плоскости сплачивания, наклонно вклеенного стержня в соединении, работающем на сдвиг

11.4.4.3 При определении числа вклеенных стержней необходимо учитывать коэффициент их совместной работы $k_{ср}$:

- при одном наклонном стержне с одной стороны стыка и на одной грани $k_{ср} = 1$;
- двух наклонных стержнях $k_{ср} = 0{,}9$;
- большем количестве стержней $k_{ср} = 0{,}75$.

11.4.5 Соединения на вклеенных стальных нагелях

11.4.5.1 Расчетную несущую способность вклеенного в древесину нагеля из стальной арматуры периодического профиля (см. рисунок 11.13) на сдвиг *T*, кН, на один шов соединения элементов вычисляют по формуле

$$T = \min\begin{cases} T_{см} \\ T_и \\ T_{и.т} \end{cases}, \qquad (11.22)$$

где $T_{см}$ — несущая способность на смятие древесины под нагелем, определяемая по 11.4.5.2;

$T_и$ — несущая способность нагеля в расчете на изгиб, определяемая по 11.4.5.3;

$T_{и.т}$ — несущая способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце определяемая по 11.4.5.4.

11.4.5.2 Несущую способность на смятие древесины под вклеенным стальным нагелем $T_{см}$ вычисляют по формуле

$$T_{см} = T_{см.н} \cdot k_\alpha \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i, \qquad (11.23)$$

где $T_{см.н}$ — наименьшая несущая способность по 11.4.5.7;

k_α — коэффициент усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам [при расчете на смятие древесины под нагелем следует определять по таблице 11.2 (для смятия под нагелем в торце $k_\alpha = 1$)];

$m_{дл}$ — коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения по таблице 9.2;

Πm_i — произведение коэффициентов условий работы по 9.9, перечисления а), б), д).

11.4.5.3 Несущую способность вклеенного стального нагеля на изгиб (условный срез) $T_и$ вычисляют по формуле

$$T_и = T_{и.н} \cdot \sqrt{k_\alpha \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i} \cdot m_и, \quad (11.24)$$

где $T_{и.н}$ — наименьшая несущая способность по 11.4.5.7;

k_α — коэффициент усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам [при расчете на изгиб нагеля следует определять по таблице 11.2, угол α следует принимать равным большему из углов смятия нагелем элементов, прилегающих к рассматриваемому шву (кроме нагеля, работающего в торце)];

$m_{дл}$, Πm_i — см. 11.4.5.2;

$m_и$ — коэффициент по 11.3.9.

11.4.5.4 Несущую способность вклеенного нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце $T_{и.т}$ вычисляют по формуле

$$T_{и.т} = T_{и.н} \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{k_\alpha \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i} \cdot m_и, \quad (11.25)$$

где $T_{и.н}$ — см. 11.4.5.3;

k_α — коэффициент усилия, передаваемого нагелем под углом к волокнам (при расчете на изгиб нагеля следует определять по таблице 11.2);

$m_{дл}$ и Πm_i — см. 11.4.5.2;

$m_и$ — коэффициент по 11.3.9.

11.4.5.5 Диаметр нагеля d следует назначать из условия наиболее полного использования его несущей способности по изгибу.

11.4.5.6 Число нагелей $n_н$ в соединении следует определять по формуле

$$n_н = \frac{N}{T \cdot m_ц \cdot n_ш} \geq 2, \quad (11.26)$$

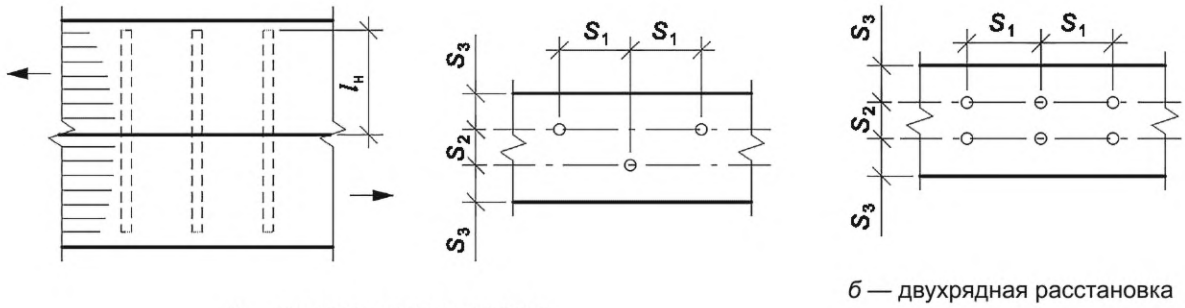
где N — расчетное усилие;

T — наименьшая расчетная несущая способность одного нагеля на один расчетный шов по 11.4.5.1;

$m_ц$ — коэффициент циклической нагрузки согласно 9.8;

$n_ш$ — число расчетных швов одного нагеля.

11.4.5.7 Несущую способность на сдвиг $T_н$, кН, вклеенного в древесину цилиндрического нагеля из стальной арматуры периодического профиля (см. рисунок 11.13) на один шов соединения элементов при глубине заделки $l_н \geq 6d$ в направлении усилий вдоль волокон следует определять по таблице 11.4. Максимальным значениям $T_н$ соответствует $l_н \geq 8d$, где d — номинальный диаметр стержня, см, и l — глубина заделки, см.



а — шахматная расстановка

б — двухрядная расстановка

Рисунок 11.13 — Соединение на вклеенных стальных нагелях

11.4.5.8 Расчет нагельных соединений на скалывание проводить не следует, если выполнены условия расстановки нагелей. Минимальные расстояния между осями вклеенных нагелей при их расстановке следует принимать:

- вдоль волокон древесины $S_1 \geq 8d_o$;
- поперек волокон и при шахматной расстановке $S_2 \geq 3d_o$; $S_3 \geq 3d_o$.

11.4.5.9 Для вклеенных нагелей при направлении передаваемого нагелем усилия под углом к волокнам следует учитывать вероятность раскалывания деревянного элемента составляющей усилия, растягивающей древесину поперек волокон. Расчет проводят согласно 11.3.13.

Таблица 11.4

Схема соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность T на один шов соединения (условный срез), кН
1 Симметричные соединения	а) Смятие в средних элементах	$0{,}75cd_o$
	б) Смятие в крайних элементах	$1{,}2ad_o$
2 Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0{,}53cd_o$
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \le 0{,}5c$	$0{,}38cd_o$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \le 0{,}35c$	$0{,}8ad_o$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0{,}35c$	$1{,}5k_н ad_o$
3 Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб нагеля из арматуры А300	$2{,}5d^2 + 0{,}025l_н^2$, но не более $3{,}9d^2$
	б) Изгиб нагеля из арматуры А400	$3{,}1d^2 + 0{,}025l_н^2$, но не более $4{,}5d^2$

Примечания

1 В настоящей таблице применены следующие обозначения:

- c — толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений, см;
- a — толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений, см;
- d — номинальный диаметр вклеенного нагеля, см;
- d_o — диаметр отверстия, см.

2 Расчетную несущую способность нагеля в двухсрезных несимметричных соединениях при неодинаковой толщине элементов следует определять с учетом следующего:

- расчетную несущую способность нагеля из условия смятия в среднем элементе толщиной c при значениях $c > a > 0{,}5c$ следует определять интерполяцией между значениями по пунктам 2 а) и 2 б);
- при толщине крайних элементов $a > c$ расчетную несущую способность нагеля следует определять из условия смятия в крайних элементах по пункту 2 а) с заменой c на a;
- при определении расчетной несущей способности из условий изгиба нагеля толщину крайнего элемента a в пункте 3 таблицы следует принимать не более $0{,}6c$.

3 Значения коэффициента k_n для определения расчетной несущей способности при смятии в более тонких элементах односрезных соединений при $c \ge a \ge 0{,}5c$ приведены в таблице 11.3.

4 Расчетную несущую способность нагеля в рассматриваемом шве следует принимать равной меньшему из всех значений, полученных по формулам данной таблицы.

11.4.6 Армирование

11.4.6.1 Локальное поперечное и наклонное армирование КДК выполняется вклеенными стержнями, используемыми в качестве растянутой или сжатой арматуры.

11.4.6.2 Проверку прочности сопряжения арматуры с древесиной выполняют в соответствии с 11.4.3.

11.4.7 Жесткие стыки

11.4.7.1 При устройстве жестких стыков в конструкциях используют два типа соединений на наклонно вклеенных стержнях (см. рисунки 11.14—11.18).

11.4.7.2 Универсальными являются анкеры V-образной формы, которые представляют собой комбинацию минимум из двух стержней, вклеенных наклонно по отношению к направлению волокон древесины и образующих между собой внутренний угол.

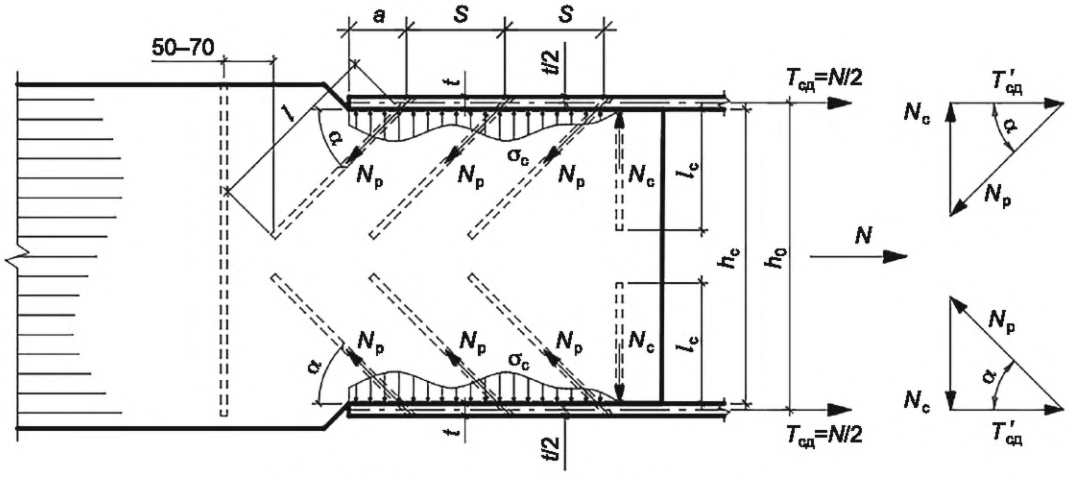
11.4.7.3 В растянутых стыках или растянутых зонах стыков допускается применять соединения на стержнях, наклонно вклеенных в одном направлении, работающих на выдергивание и присоединенных на сварке к стальным пластинам, передающим на древесину усилия сжатия, возникающие от разложения усилий растяжения в наклонных стержнях. Работа стержней на продавливание (сжатие) в таких узлах не допускается.

11.4.7.4 Расчетную несущую способность V-образного анкера определяют исходя из расчетной несущей способности вклеенных стержней анкера, определенной по 11.7. Усилия в каждой ветви анкера определяются путем разложения усилий от внешней нагрузки по направлениям ветвей. Внутренний угол между ветвями анкера принимают от 45° до 120°.

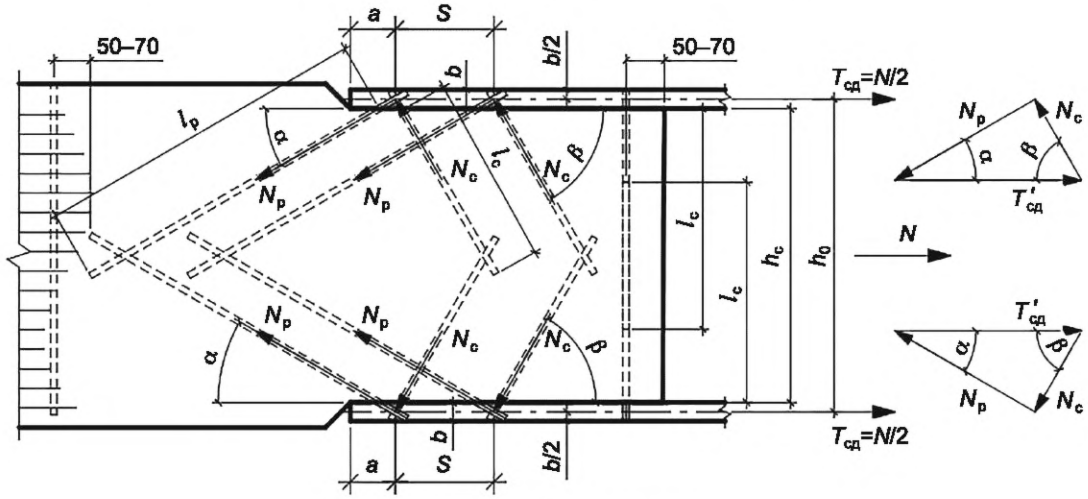
11.4.7.5 При проектировании стыков или узлов конструкций необходимо учитывать особенности конструктивной схемы. Принципиально различаются конструктивные варианты сжатой и растянутой зон стыков сжато-изгибаемых элементов ломаного сечения, например в карнизных узлах рам и т. д.

11.4.7.6 Наклонно вклеенные стержни закреплены к растянутой детали стыка и расположены в соединениях таким образом, чтобы в них возникали преимущественно растягивающие усилия. Возникающие при этом сжимающие усилия под деталью стыка должны передаваться на древесину прямым упором или специально вклеенными стержнями с соответствующей проверкой расчетом.

11.4.7.7 Стыки и узлы сжато-изгибаемых, растянуто-изгибаемых, изгибаемых и растянутых элементов сборных конструкций следует проверять расчетом и обеспечивать восприятие перерезывающих сил, а также усилий, возникающих при сборке, кантовке, перевозке, складировании и монтаже. Для сжатых стыков большепролетных конструкций, выполненных с заполнением полимербетоном, необходимо предусматривать конструктивные решения стыков на наклонно вклеенных стержнях, способных воспринимать перечисленные выше нагрузки и перерезывающие силы.



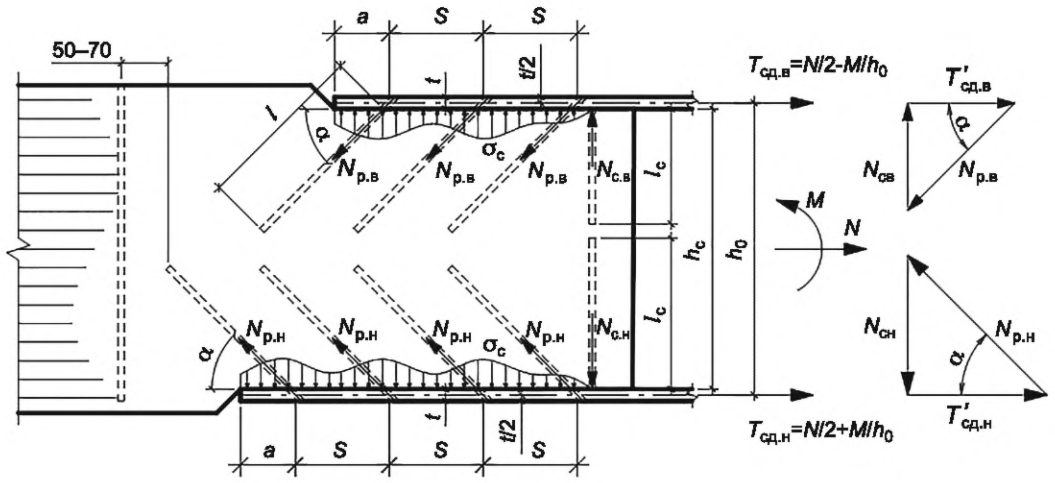
а — с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями



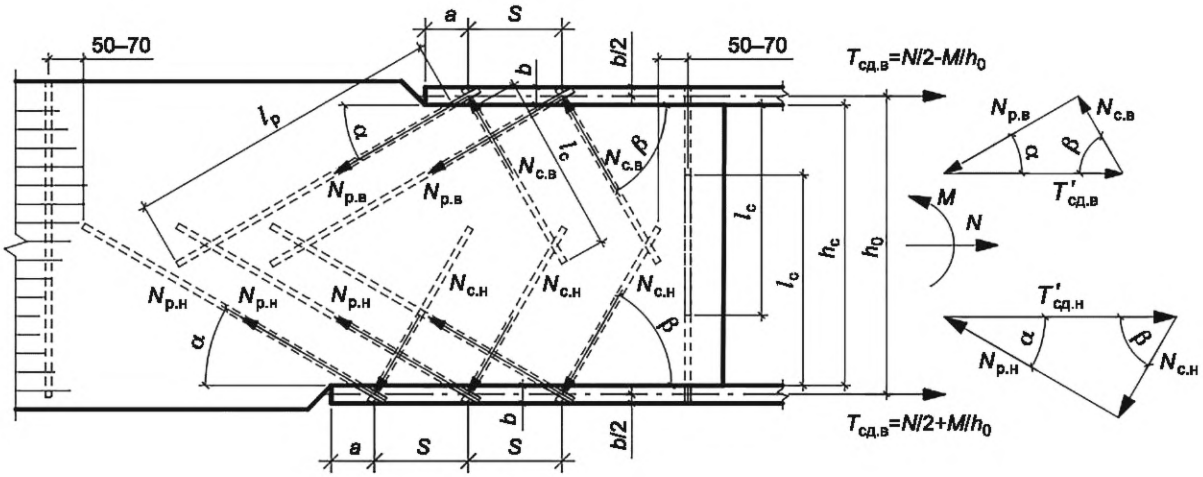
б — с V-образными анкерами

а — расстояние от края пластины до оси стержня; *b* — ширина пластины; $h_с$ — высота сечения стыка; h_0 — плечо пары сил; *l* — длина заделываемой части стержня; $l_р$ — длина растянутого стержня; $l_с$ — длина сжатого стержня; *N* — продольное усилие; $N_р$ — усилие растяжения; $N_с$ — усилие сжатия; *S* — шаг стержня; $T_{сд}$ — усилие сдвига; $T'_{сд}$ — усилие сдвига, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень; *t* — толщина пластины; α, β — углы наклона стержней; $σ_с$ — напряжение сжатия

Рисунок 11.14 — Жесткие растянутые стыки



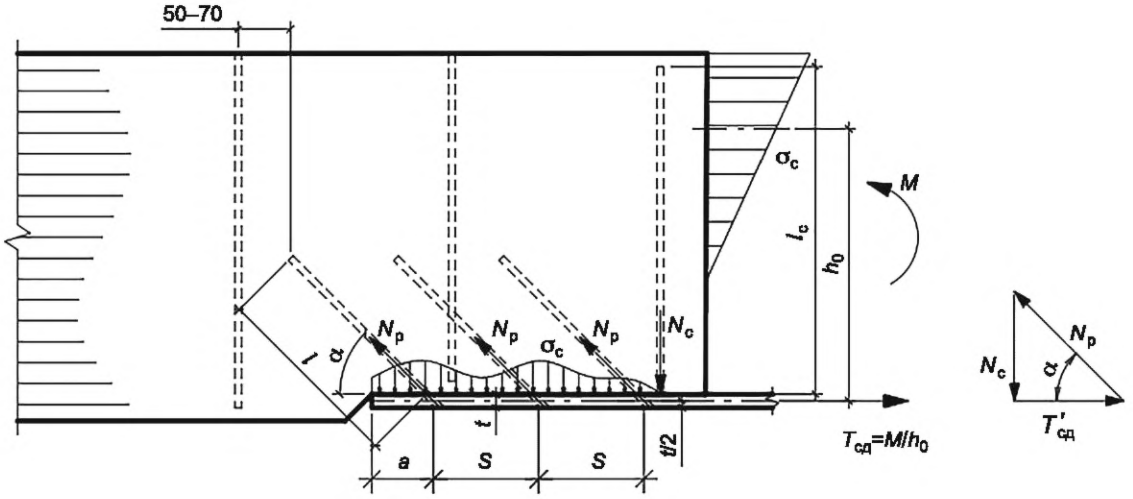
а — с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями



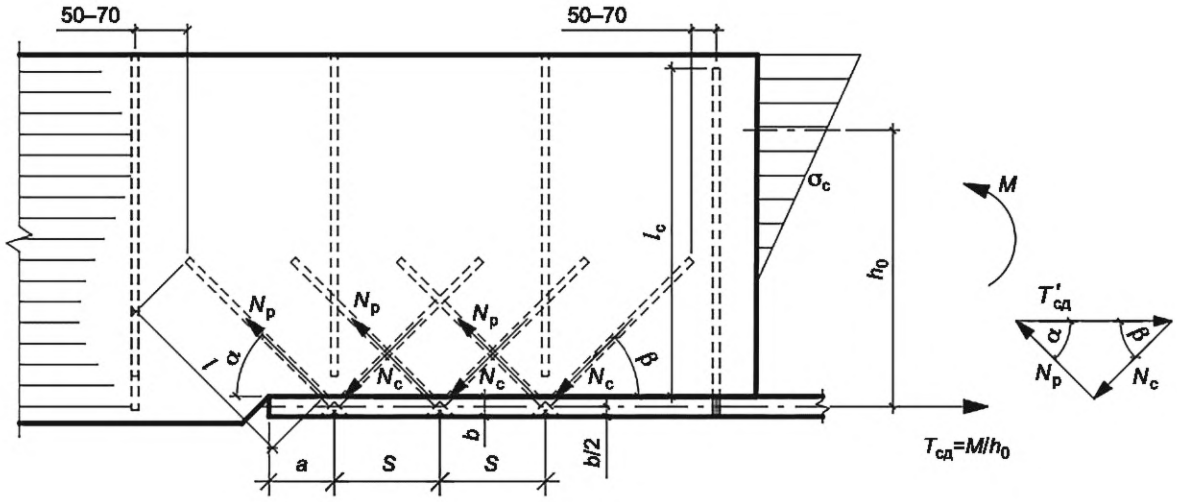
б — с V-образными анкерами

a — расстояние от края пластины до оси стержня; *b* — ширина пластины; h_c — высота сечения стыка; h_0 — плечо пары сил; *l* — длина заделываемой части стержня; $l_р$ — длина растянутого стержня; l_c — длина сжатого стержня; *M* — изгибающий момент; *N* — продольное усилие; $N_{р.в}$ — верхнее усилие растяжения; $N_{р.н}$ — нижнее усилие растяжения; $N_{с.в}$ — верхнее усилие сжатия; $N_{с.н}$ — нижнее усилие сжатия; *S* — шаг стержня; $T_{сд.в}$ — верхнее усилие сдвига; $T_{сд.н}$ — нижнее усилие сдвига; $T'_{сд.в}$, $T'_{сд.н}$ — верхнее, нижнее соответственно усилие сдвига, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень (*а*) или анкер (*б*); *t* — толщина пластины; α, β — углы наклона стержней; σ_c — напряжение сжатия

Рисунок 11.15 — Жесткие растянуто-изгибаемые стыки



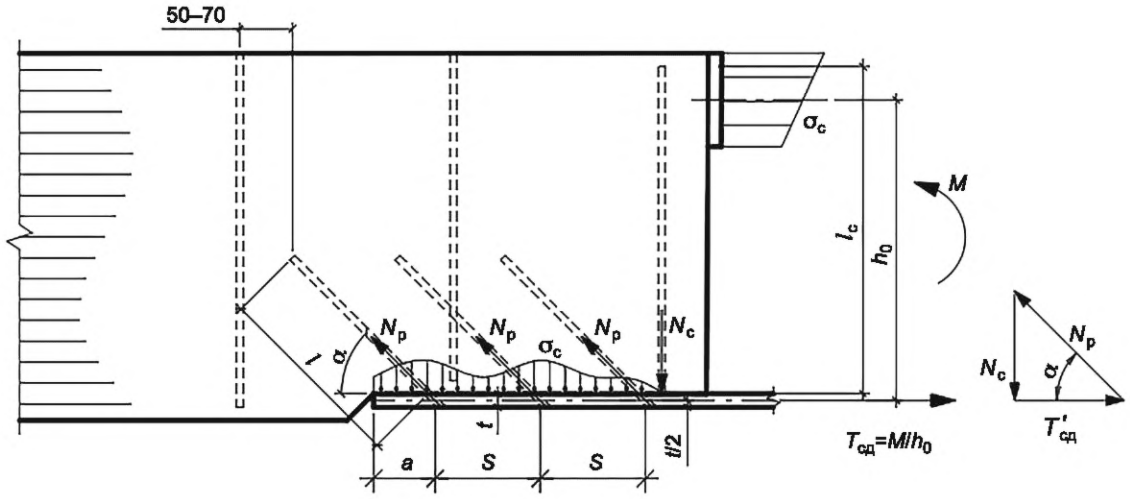
а — с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями



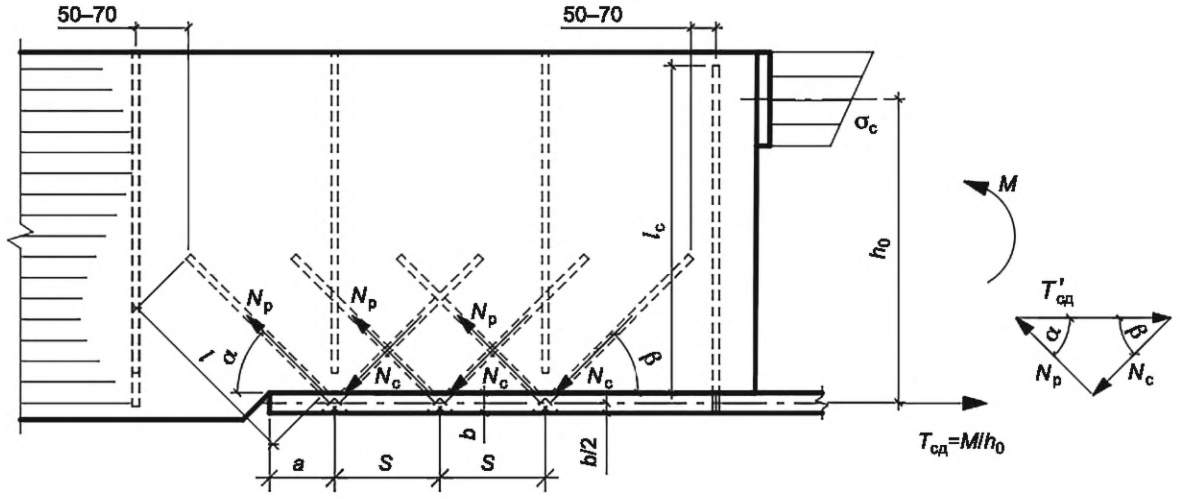
б — с V-образными анкерами

a — расстояние от края пластины до оси стержня; *b* — ширина пластины; h_0 — плечо пары сил; *l* — длина заделываемой части стержня; l_c — длина сжатого стержня; *M* — изгибающий момент; $N_р$ — усилие растяжения; N_c — усилие сжатия; *S* — шаг стержня; $T_{сд}$ — усилие сдвига; $T'_{сд}$ — усилие сдвига, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень; *t* — толщина пластины; α, β — углы наклона стержней; σ_c — напряжение сжатия

Рисунок 11.16 — Жесткие изгибаемые стыки с лобовым упором в сжатой зоне



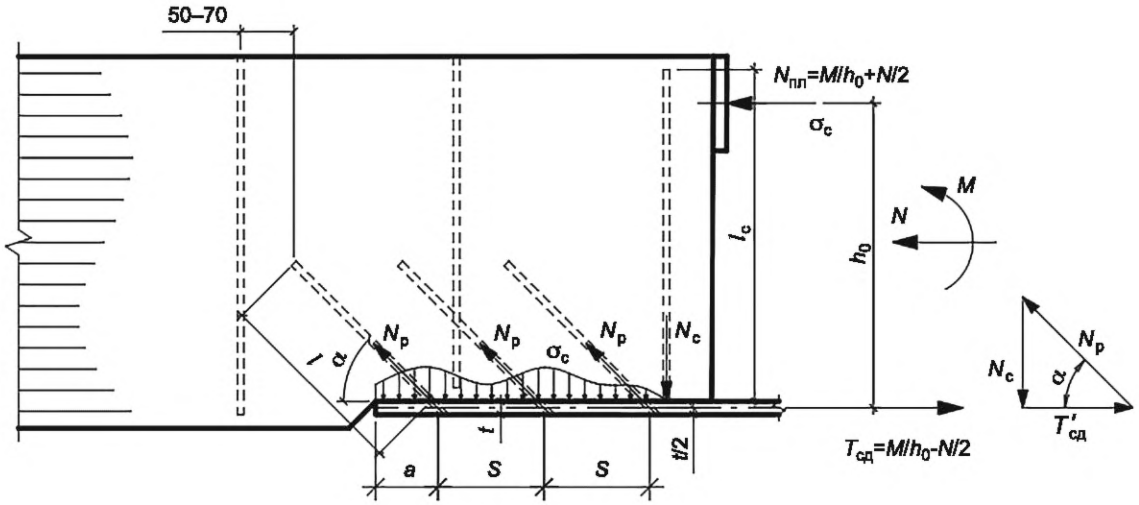
а — с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями



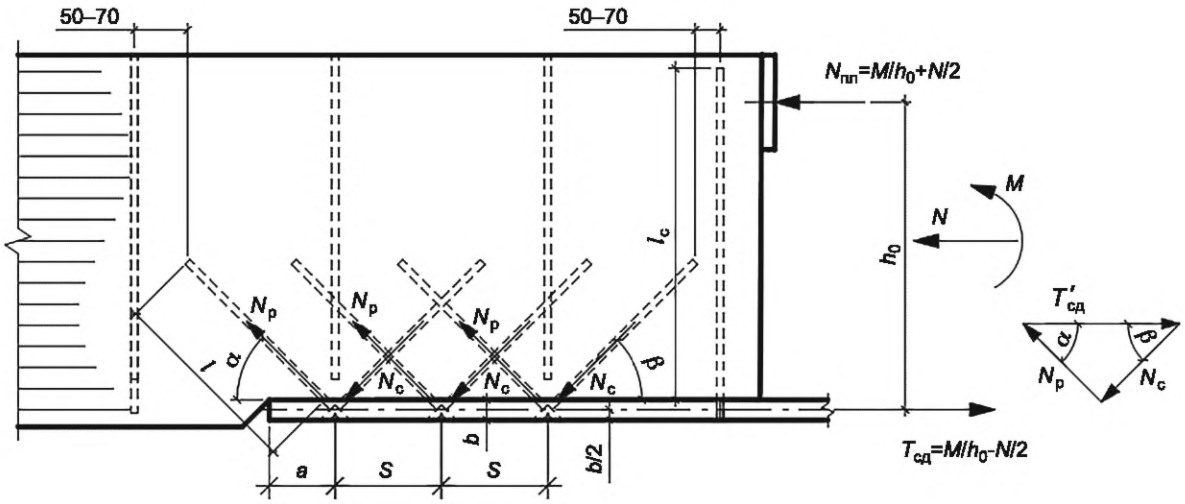
б — с V-образными анкерами

a — расстояние от края пластины до оси стержня; *b* — ширина пластины; h_0 — плечо пары сил; *l* — длина заделываемой части стержня; l_c — длина сжатого стержня; *M* — изгибающий момент; N_p — усилие растяжения; N_c — усилие сжатия; *S* — шаг стержня; $T_{сд}$ — усилие сдвига; $T'_{сд}$ — усилие сдвига, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень; *t* — толщина пластины; α, β — углы наклона стержней; σ_c — напряжение сжатия

Рисунок 11.17 — Жесткие изгибаемые стыки с центрирующей прокладкой в сжатой зоне



а — с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями



б — с V-образными анкерами

а — расстояние от края пластины до оси стержня; *b* — ширина пластины; h_0 — плечо пары сил; *l* — длина заделываемой части стержня; l_c — длина сжатого стержня; *M* — изгибающий момент; *N* — продольное усилие; $N_{пл}$ — усилие на центрирующую прокладку; N_p — усилие растяжения; N_c — усилие сжатия; *S* — шаг стержня; $T_{сд}$ — усилие сдвига; $T'_{сд}$ — усилие сдвига, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень; *t* — толщина пластины; α, β — углы наклона стержней; σ_c — напряжение сжатия

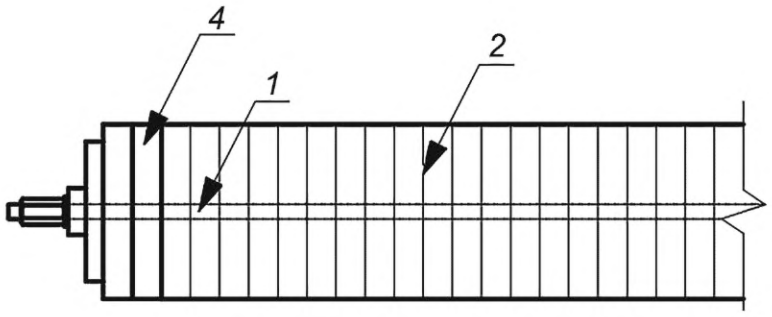
Рисунок 11.18 — Жесткие сжато-изгибаемые стыки с центрирующей прокладкой в сжатой зоне

12 Плиты проезжей части

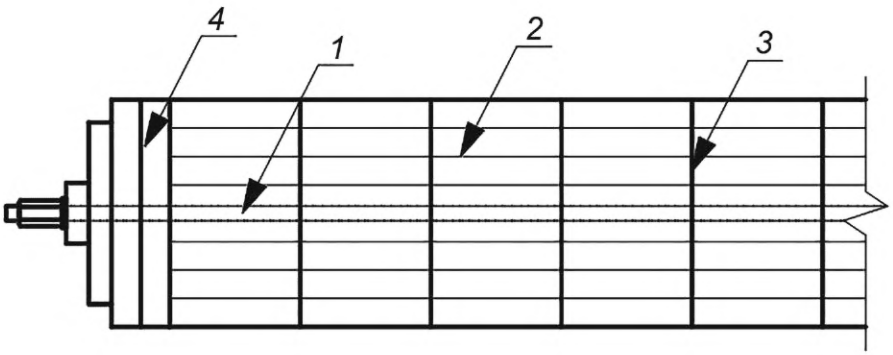
12.1 Общие положения

12.1.1 Несущую плиту проезжей части следует выполнять в виде предварительно напряженной деревоплиты.

12.1.2 Предварительно напряженная деревоплита состоит из ряда наборных элементов КДК с вертикальными или склеенными в блоки элементами с горизонтальным расположением слоев, удерживаемыми вместе посредством предварительного натяжения стальных стержней, перпендикулярно к длине плиты. Пример плит показан на рисунке 12.1.



а — элемент КДК с вертикальным расположением слоев



б — элемент КДК склеенный в блоки из элементов клееной древесины

1 — напряженный стальной стержень с соединительными деталями; *2* — клеевой шов между слоями в элементах КДК; *3* — клеевой шов между склеенными элементами КДК (блоки КДК); *4* — два слоя бакелизированной фанеры

Рисунок 12.1 — Предварительно напряженная деревоплита

12.1.3 Предварительно напряженная деревоплита имеет направление по длине главных балок КДК вдоль направления проезжей части и опирается на поперечные балки КДК. Пример фрагмента схемы поперечного разреза пролетного строения с предварительно напряженной деревоплитой показан на рисунке 12.2.

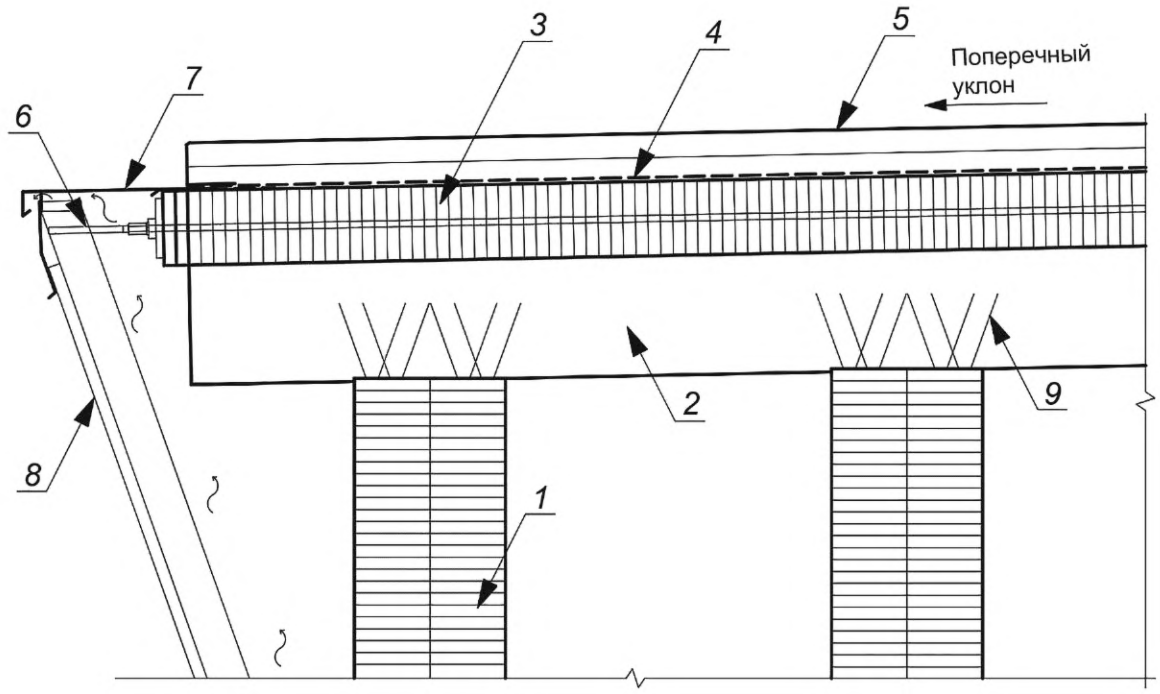
12.1.4 Деревоплита должна быть выполнена из одного сорта или класса прочности древесины.

12.1.5 Высота деревоплиты должна быть менее 140 мм.

При определении геометрических характеристик сечения деревоплиты следует вычесть из фактической высоты сечения *h* слой перегретой древесины толщиной 7 мм. Нагрев древесины происходит вследствие теплового воздействия при укладке асфальтобетонной смеси.

12.1.6 Диаметр отверстий для узла предварительного напряжения не должен превышать 20 % высоты деревоплиты. Размещение отверстий для стальных стержней должно выполнятся по центру высоты плиты. Расстояние между отверстиями вдоль плиты должно быть не менее 15,0 диаметра отверстия и не менее 2,5 высоты плиты. Допускаются только просверленные отверстия.

12.1.7 В качестве покрытия на предварительно напряженную деревоплиту следует предусматривать укладку асфальтобетона с предварительной обработкой поверхности деревоплиты битумным праймером согласно 12.2.13 и монтажом наплавляемой рулонной гидроизоляции по ГОСТ Р 55396.



Примечания

1 Ориентация ламелей деревоплиты показана условно.

2 Элементы мостового полотна кроме системы гидроизоляции и дорожного покрытия не показаны.

3 Элемент дорожного покрытия показан условно.

1 — главная несущая балка; *2* — поперечная балка; *3* — предварительно напряженная деревоплита проезжей части; *4* — система гидроизоляции; *5* — дорожное покрытие; *6* — выпуск стального стержня для возможности натяжения; *7* — отлив; *8* — вентилируемый фасад; *9* — противоприсадные устройства (шипы)

Рисунок 12.2 — Фрагмент схемы поперечного разреза пролетного строения с предварительно напряженной деревоплитой

12.2 Требования к проектированию

12.2.1 Предварительно напряженную деревоплиту, рассчитывать, как балку шириной b, по формуле

$$b = a + 2t + h \cdot \operatorname{tg} \alpha, \tag{12.1}$$

где a — ширина нагрузки от транспортных средств;

t — толщина дорожного покрытия;

h — расчетная высота деревоплиты;

α — угол распределения нагрузки (определяют по 12.2.2).

12.2.2 Распределения нагрузок от транспортных средств в деревоплите определяют по таблице 12.1 в зависимости от направления волокон и расчетной высоты деревоплиты, ширины прикладываемой нагрузки, толщины покрытия. Линии распределения нагрузок доводят до центральной оси по расчетной высоте плиты.

12.2.3 Стальные стержни предварительного напряжения применяют из высокопрочной стали.

12.2.4 Соотношение стали и древесины R_{SW} должно быть в пределах $0{,}0012 \le R_{SW} \le 0{,}0016$ и рассчитано по формуле

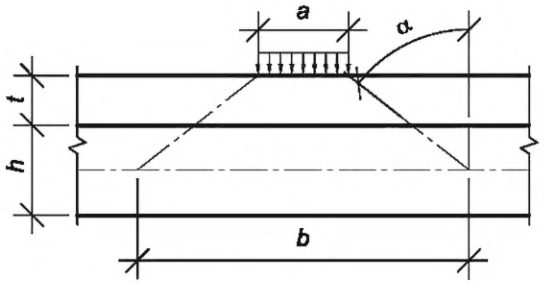
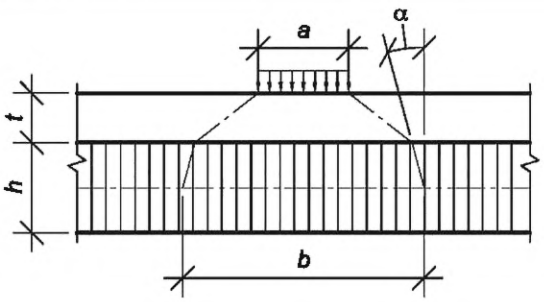
$$R_{SW} = \frac{F_{ст}}{sh}, \tag{12.2}$$

где $F_{ст}$ — расчетная площадь стального стержня;

s — расстояние между стальными стержнями;

h — расчетная высота плиты.

Таблица 12.1

Направление волокон	Схема распределения нагрузки в предварительно напряженной деревоплите КДК	Угол α
1 Вдоль волокон		45°
2 Поперек волокон		15°

12.2.5 Усилие натяжения стального стержня P_{pt} вычисляют по формуле

$$P_{pt} = \sigma_{сд} \cdot s \cdot h, \quad (12.3)$$

где $\sigma_{сд}$ — напряжение сжатия деревоплиты, равное 0,7 МПа;

s и h — см. 12.2.4.

12.2.6 Релаксация системы предварительного напряжения происходит с течением времени. Необходимо повторно напрягать систему после первоначального напряжения, чтобы компенсировать долговременные эффекты релаксации. В проекте необходимо дать указание о последовательности натяжения стальных стержней по следующей схеме:

- первое натяжение во время строительства;
- второе натяжение через 7—14 дней после первого натяжения;
- третье натяжение через 42—56 дней после второго натяжения.

12.2.7 В проекте необходимо дать указание о требовании натяжения стальных стержней во время эксплуатации.

12.2.8 Для расчетов на сдвиг напряжение сжатия деревоплиты $\sigma_{сд}$ принимают равным 0,28 МПа после релаксации.

12.2.9 Площадь нетто стальной плиты, передающую усилие натяжения стержня на древесину, определяют с учетом сопротивления древесины поперек волокон в соответствии с разделом 9. Плита должна обеспечивать равномерное распределения давления и удовлетворять требованиям на прочность по изгибу.

12.2.10 Расчет на усилие сдвига $P_{сд}$ элементов плиты между собой в сопряжении поперечных стыков не склеенных между собой поверхностей выполняют по формуле

$$P_{сд} \le f_{тр} \cdot \sigma_{сд} \cdot l_{сд} \cdot h, \quad (12.4)$$

где $f_{тр}$ — коэффициента трения по таблице 12.2;

$\sigma_{сд}$ — напряжение сжатия для расчетов на сдвиг по 12.2.8;

h — расчетная высота плиты;

$l_{сд}$ — расчетная длина воздействия сдвига.

Таблица 12.2

Неровность поверхности слоя	Коэффициент трения $f_{тр}$ поперек волокон	Коэффициент трения $f_{тр}$ вдоль волокон
Строганная древесина к строганной древесине	0,20	0,17

12.2.11 Крепление деревоплиты к поперечным балкам осуществляют после первого предварительного напряжения деревоплиты. При предварительном напряжении деревоплиты рекомендуется предусматривать монтаж направляющих ограничителей. Направляющие ограничители служат для исключения деформации из-за непреднамеренного эксцентриситета, в момент предварительного напряжения деревоплиты. Направляющие ограничители не должны препятствовать боковому перемещению настила по его ширине во время предварительного напряжения.

Деревоплита проезжей части должна быть закреплена соединениями, обеспечивающими ее проектное положение без включения в совместную работу с главными балками на общее действие нагрузки.

Деревоплита должна крепится к поперечным балкам на болтовом соединении.

В болтовых соединениях должны быть учтены изменения размеров настила из-за предварительного напряжения путем выполнения овальных отверстий в поперечных балках.

Элементы деревоплиты должны быть закреплены на каждой поперечной балке, а расстояние должно составлять:

- 150 мм — от края элемента деревоплиты поперек волокон;
- не менее 7*d* — от края элемента деревоплиты вдоль волокон;
- не менее 15*d* — между креплениями вдоль каждой балки.

Отверстия в деревоплите размещают на расстоянии не менее 150 мм от элементов предварительного напряжения.

Для соединений, скрепляющих деревянные элементы, используют болты с куполообразной головкой, чтобы минимизировать выступ головки болта, подвергающийся воздействию движения, а также обеспечить большую площадь опорной поверхности для болта.

12.2.12 Длину деревоплиты подбирают таким образом, чтобы было минимальное количество стыков по длине пролетного строения. Стык деревоплиты по длине выполняют на двойной по толщине поперечной балке.

12.2.13 Деревоплиту обрабатывают битумным праймером перед укладкой наплавляемой гидроизоляции в соответствии с требованиями производителя гидроизоляции.

12.2.14 Укладка наплавляемой гидроизоляции и асфальтового покрытия возможна только после второго этапа натяжения деревоплиты в соответствии с 12.2.6.

12.2.15 Отверстия для крепления ограждения в деревоплите размещают на расстоянии не менее 150 мм от элемента предварительного напряжения.

Крепление ограждения непосредственно к любому элементу системы напряжения деревоплиты не допускается.

12.2.16 При конструировании мостового полотна пролетных строений необходимо предусматривать продольные и поперечные уклоны в соответствии с установленными нормами.

12.2.17 Мостовое полотно пролетных строений из КДК должно защищать нижележащие конструкции от воздействия осадков и прямого солнечного освещения.

Мостовое полотно запрещается выполнять:

- из двойного дощатого настила и других подобных конструкций, которые не могут обеспечить надежное и качественное выполнение гидроизоляции и конструктивной защиты;
- из сборного железобетона.

13 Защита конструкций деревянных клееных

13.1 Для конструкционной защиты КДК должны быть выполнены требования разделов 6 и 7.

13.2 Химическую защиту КДК выполняют по ГОСТ 20022.0 и ГОСТ 20022.6.

13.3 Для химической защиты КДК должно быть выбрано следующее:

а) способ пропитки давление — давление — вакуум (ДДВ) применяют по ГОСТ 20022.5;

б) одно из перечисленных защитных средств:

1) нафтенат меди (НМ) по ГОСТ 9549;

2) каменноугольное масло (КМ) по ГОСТ 2770.

13.4 Пропитка должна быть проведена не ранее, чем через 7 сут после изготовления элементов КДК.

13.5 Допускается химическую защиту КДК выполнять по СП 28.13330, за исключением элементов КДК деревоплиты.

13.5.1 Должны быть выбраны следующие защитные средства по СП 28.13330.2017 (таблица С.1):

а) боковая обработка поверхности, комбинация средств 2 + 5А:

1) биозащитные — пункт 2 С.1;

2) влагозащитные — пункт 5А таблицы С.1;

б) торцевая обработка поверхности, комбинация средств 2 + 5Б.

13.5.2 Если производителем защитных средств не указано иное, то для защиты торцов предусматривают следующее:

- биозащитные средства наносят на поверхность за один раз до насыщения;

- влагозащитные средства наносят в два слоя. Первый слой является грунтовочным, для него используют эпоксидную грунтовку с ориентировочным расходом 0,5 кг/м^2 или эпоксидную шпатлевку ЭП-0010, разбавленную на 10 %—15 % растворителем № 646. После грунтования торцы покрывают одним слоем эпоксидной шпатлевки с расходом приблизительно 1,0—1,5 кг/м^2.

13.5.3 Просверленные отверстия в древесине необходимо смазать три раза каменноугольным маслом по ГОСТ 2770.

13.6 Защитную обработку следует проводить после полной готовности элемента КДК в соответствии с проектом (геометрические размеры, вырезы, отверстия и т. д.).

13.7 Работы следует проводить по технологии производителя защитных средств. При нарушении защитного покрытия оно должно быть восстановлено теми же средствами.

13.8 При монтаже конструкций, в случае необходимости сверления отверстий в древесине для установки скрепляющих изделий, отверстие в древесине следует обработать по 13.5.3.

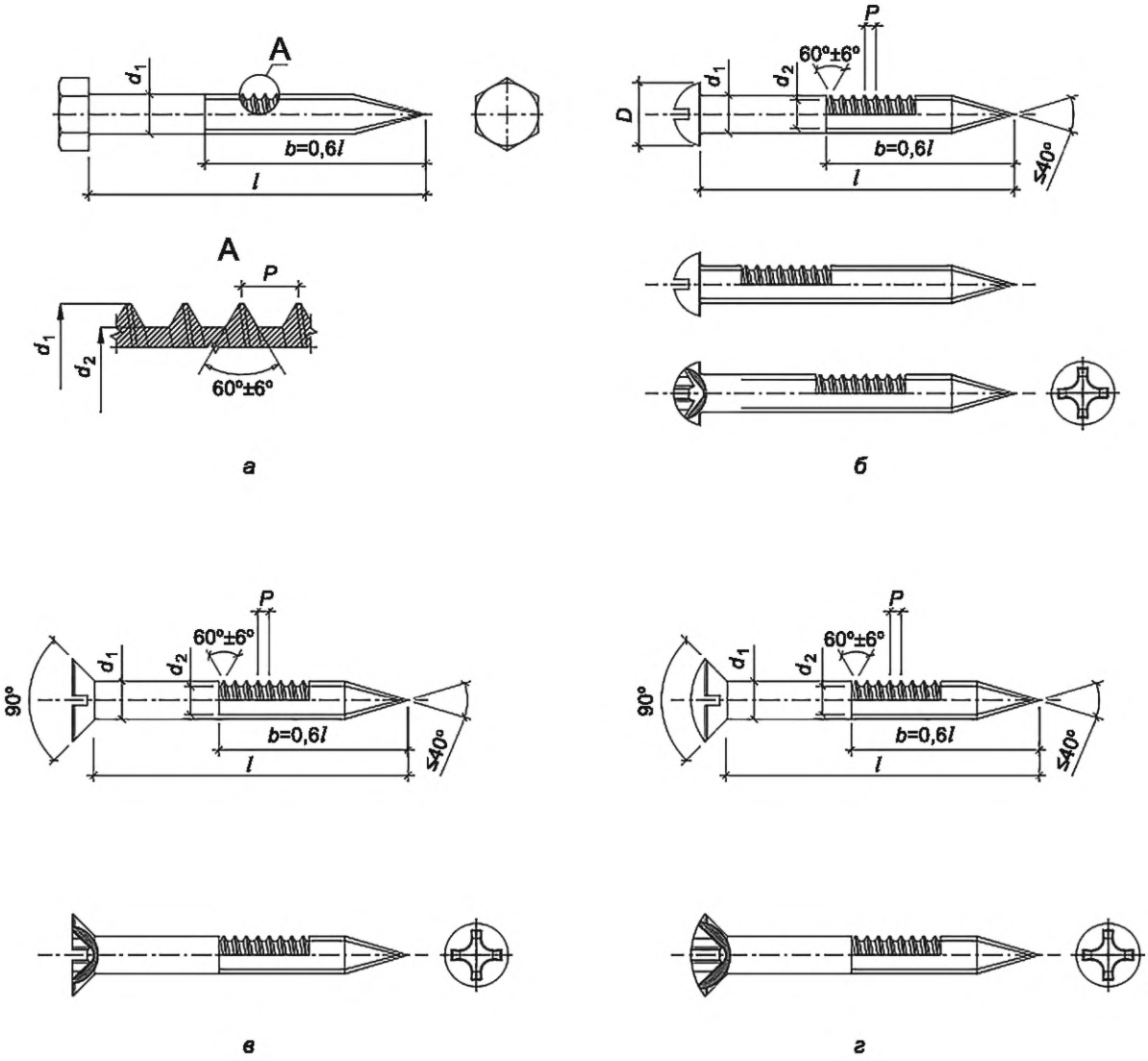
13.9 Периодичность и методы проверки, в случае необходимости восстановления биовлагозащиты КДК, проводят по регламентам производителей и соответствующим нормативным документам.

Приложение А
(справочное)

Параметры шурупов и требования к ним

А.1 Параметры шурупов

А.1.1 Конструкция и размеры шурупов, в том числе шурупов-глухарей с шестигранной головкой, показаны на рисунке А.1.



а — глухарь; *б*, *в*, *г* — шурупы с полукруглой, потайной и полупотайной головками

Рисунок А.1 — Шурупы

А.1.2 Резьбовую часть шурупов изготовляют цилиндрической или конической, которая должна иметь на конце заостренную часть (буравчик). Для шурупов наружный диаметр резьбы, а с конической резьбовой частью наибольший наружный диаметр резьбы должен быть равен номинальному диаметру шурупа.

А.1.3 Конструктивные параметры шурупов приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

В миллиметрах

Параметры шурупов	Значения								
Наружный диаметр резьбы	3,5	4	5	6	8	10	12	16	20
Внутренний диаметр резьбы	2,4	2,8	3,5	4,2	5,6	7,0	9,0	12,0	15,0
Шаг резьбы	1,5	1,75	2,0	2,5	3,5	4,5	5,0	6,0	7,0

А.2 Требования к шурупам — по СП 299.1325800.2017 (пункт 6.1).

Библиография

[1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 014/2011 Безопасность автомобильных дорог

УДК 69:009/624.011.14:006.354 ОКС 93.040

Ключевые слова: автомобильные дороги общего пользования, мостовые сооружения, проектирование элементов из клееной древесины, автодорожные мосты, пролетные строения, расчеты, конструктивные требования

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 08.10.2024. Подписано в печать 06.11.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 6,98. Уч.-изд. л. 5,58.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru