ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
(проект, первая редакция)

Дороги автомобильные общего пользования

МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Проектирование элементов из клееной древесины

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Москва
Российский институт стандартизации
2024

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 №

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 (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 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

2 Нормативные ссылки

3 Термины и определения

4 Обозначения

5 Общие положения

6 Общие указания

7 Конструирование

8 Материалы

9 Расчетные характеристики КДК

10 Расчет элементов клееных деревянных конструкций

10.1 Общие требования

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

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

11 Расчет соединений элементов деревянных конструкций

11.1 Общие указания

11.2 Соединения на врубках

11.3 Соединения на цилиндрических нагелях

11.4 Соединения на вклеенных стержнях

12 Плиты проезжей части

12.1 Общие указания

12.2 Требования к проектированию

13 Защита древесины

Приложение А

Библиография

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 – 20__–__–__

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на мостовые сооружения, расположенные на автомобильных дорогах общего пользования (далее – автомобильные дороги), 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.;

– труб;

– механизмов разводных пролетов мостов;

– мостов и труб на автомобильных дорогах лесозаготовительных и лесохозяйственных организаций, не выходящих на сеть дорог общего пользования и к водным путям; галерей, конструкций для пропуска селей, служебных эстакад; коммуникационных мостов, не предназначенных для пропуска транспортных средств и пешеходов.

– на железных дорогах, линиях метрополитена и трамвая.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 2770 - 74 Масло каменноугольное для пропитки древесины. Технические условия

ГОСТ 4028 - 63 Гвозди строительные. Конструкция и размеры

ГОСТ 6402-70 Шайбы пружинные. Технические условия

ГОСТ 6958-78 Шайбы увеличенные. Классы точности А и С. Технические условия

ГОСТ 9549 - 80 Нафтенат меди для противогнилостных составов. Технические условия

ГОСТ 18288 - 87 Производство лесопильное. Термины и определения.

ГОСТ 20022.0 - 2016 Защита древесины. Параметры защищенности

ГОСТ 20022.5 - 93 Защита древесины. Автоклавная пропитка маслянистыми защитными средствами

ГОСТ 20022.6 - 93 Защита древесины. Способы пропитки

ГОСТ 20850 - 2014 Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия

ГОСТ 27751 - 2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 33178 - 2014 Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов

ГОСТ 33384 - 2015 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование мостовых сооружений. Общие требования

ГОСТ 33390 - 2015 Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия

ГОСТ Р 54401-2020 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси литые асфальтобетонные дорожные горячие и асфальтобетон литой дорожный. Технические условия

ГОСТ Р 55396-2013 Материалы рулонные битумно-полимерные для гидроизоляции мостовых сооружений. Технические требования

ГОСТ Р 56705-2015 Конструкции деревянные для строительства. Термины и определения

ГОСТ Р 59618-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Правила обследований и методы испытаний

ГОСТ Р 59622-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Проектирование железобетонных элементов

ГОСТ Р 59623-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Проектирование стальных элементов

ГОСТ Р ПНС – 1.2.418-1.394.24. Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Технические требования к несущим элементам из клееной древесины

СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах»

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

СП 268.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования

СП 299.1325800.2017 Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования

П р и м е ч а н и е – 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;

3.6

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

[ГОСТ Р 56705-2015, пункт 2]

3.7

деревянный мост: Мост, у которого несущие элементы пролетного строения в основном изготовлены из дерева.

[ГОСТ 33178 – 2014, пункт 3.14]

3.8

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

[ГОСТ Р 56710-2015, пункт 3.3]

3.9

класс прочности конструкций: Показатель качества, определяемый визуальным и/или машинным методом сортировки элементов из цельной, клееной массивной или многослойной древесины. При этом показатель должен соответствовать установленному набору нормируемых величин прочности, модуля упругости и плотности древесины

[ГОСТ Р 56705-2015, пункт 1]

3.10

клеевая композиция для вклеивания стержней: Композиция, состоящая из эпоксидной смолы, отвердителя, пластификатора и наполнителя.

[ГОСТ Р 56710-2015, пункт 3.8]

3.11

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

[ГОСТ Р 56705-2015, пункт 87]

3.12

конструкционные пиломатериалы: Пиломатериалы с гарантированными показателями прочности для изготовления деталей несущих конструкций

[ГОСТ 18288-87, пункт 1, таблица 1, позиция 7]

3.13

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]

3.14

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, пункт 13]

3.15

кромка пиломатериала: Любая из двух противоположных более узких продольных опиленных поверхностей обрезного пиломатериала, а также любая из обзольных продольных поверхностей необрезного пиломатериала

[ГОСТ 18288-87, пункт 1 таблица 1 позиция 39]

3.16

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]

3.17

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

[ГОСТ 33178 – 2014, пункт 3.4]

3.18

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

[ГОСТ 33178 – 2014, пункт 3.5]

3.19

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

[ГОСТ Р 56710-2015, пункт 3.4]

3.20

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

[ГОСТ 27751 – 2014, пункт 2.2.4]

3.21

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]

3.22

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

[ГОСТ Р 56710-2015, пункт 3.5]

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

3.24

продавливание: Разрушение клеевого шва соединения, в котором стержень работает на сжатие.

[ГОСТ Р 56710-2015, пункт 3.9]

3.25

пласть пиломатериала: Любая из двух противоположных более широких продольных поверхностей пиломатериала, а также любая продольная поверхность пиломатериала с квадратным сечением

[ГОСТ 18288-87, пункт 1 таблица 1 позиция 34]

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

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

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

3.29

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]

3.30

химическая защита древесины: Защита древесины с использованием химических средств, предотвращающих, затрудняющих или прекращающих разрушение объекта защиты.

[ГОСТ Р 56705-2015, пункт 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

$R_{\text{и}}$ – Расчетное сопротивление древесины изгибу вдоль волокон

$R_{\text{с}}$ – Расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон

$R_{\text{р}}$ – Расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон

$R_{\text{см}}$ – Расчетное сопротивление древесины смятию вдоль волокон

$R_{\text{ск}}$ – Расчетное сопротивление древесины сдвигу вдоль волокон

$R_{\text{с90}}$ – Расчетное сопротивление древесины сжатию поперек волокон

$R_{\text{р90}}$ – Расчетное сопротивление древесины растяжению поперек волокон

$R_{\text{см90}}$ – Расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон

$R_{\text{ск}}^{\text{ср}}$ – Расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон

$R_{\text{ск90}}$ – Расчетное сопротивление древесины сдвигу поперек волокон

$R_{\text{см}\alpha}$ – Расчетное сопротивление древесины смятию под углом к волокнам

$R_{\text{ск}\alpha}$ – 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

$\nu_{90.0}$ – Коэффициент Пуассона древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон

$\nu_{0.90}$ – Коэффициент Пуассона древесины вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон

$m_{\text{а}}$ – Коэффициент, учитывающий влияние пропитки антипиренами

$m_{\text{б}}$ – Коэффициент, учитывающий высоту сечения

$m_{\text{в}}$ – Коэффициент условий эксплуатации конструкций

$m_{\text{гн}}$ – Коэффициент, учитывающий радиус кривизны

$m_{\text{дл}}$ – Коэффициент, учитывающий длительную нагрузку

$m_{\text{о}}$ – Коэффициент, учитывающий ослабления сечения растянутых и изгибаемых элементов

$m_{\text{сл}}$ – Коэффициент, учитывающий толщину слоя

$m_{\text{т}}$ – Коэффициент температурных условий

$m_{\text{ц}}$ – Коэффициент, учитывающий циклическую нагрузку

T – Расчетная несущая способность связи

Геометрические характеристики

F – Площадь поперечного сечения элемента

$F_{\text{расч}}$ – Расчетная площадь поперечного сечения элемента

$F_{\text{нт}}$ – Площадь поперечного сечения элемента нетто

$F_{\text{бр}}$ – Площадь поперечного сечения элемента брутто

$F_{\text{см}}$ – Расчетная площадь смятия

$F_{\text{ск}}$ – 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

$I_{нт}$ – Момент инерции поперечного сечения элемента нетто

$I_{нт}$ – Момент инерции поперечного сечения элемента брутто

$I_{пр}$ – Приведенный момент инерции поперечного сечения элемента

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 – Момент сопротивления 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

$k_с$ – Коэффициент податливости соединений

ρ – Коэффициент асимметрии нагрузки

5 Общие положения

5.1 Класс функционального назначения определять по ГОСТ Р ПНС – 1.2.418-1.394.24. Для различных элементов применяют различные классы функционального назначения. Класс функционального назначения должен быть определен и указан в проекте.

5.2 Объекты с повышенным уровнем ответственности по ГОСТ 27751-2014 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 сооружений 1-го класса функционального назначения, при проектировании которых использованы не апробированные 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 не выше 35°С;

– при температуре от 35°С до 50°С при относительной влажности воздуха 50% и более.

Применение КДК не допускается при следующих режимах эксплуатации:

– с относительной влажностью воздуха в зоне расположения конструкций менее 45%;

– при температуре выше 50°С;

– при контакте с грунтом;

– в воде.

5.5 Расчетный срок службы пролетных строений из клееной древесины составляет 50 лет. Срок до капитального ремонта составляет 25 лет.

6 Общие указания

6.1 Расчеты следует выполнять в соответствии с требованиями статьи 3 [1]. Должны быть выполнены требования ГОСТ 27751-2014, ГОСТ 33384-2015 и ГОСТ Р ПНС – 1.2.418-1.394.24. Нагрузки и воздействия учитывать по ГОСТ 33390-2015.

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 СП 28.13330.2017 и от воздействия солнечного ультрафиолетового облучения и нагрева;

– учетом сейсмических воздействий при строительстве в сейсмических районах согласно СП 14.13330.2018 и СП 268.1325800.2016.

6.3 В пролетных строениях из клееных деревянных конструкций и элементах всех мостов с клеевыми соединениями следует применять элементы заводского изготовления.

Элементы заводского изготовления должны быть максимально подготовлены к монтажу конструкций.

6.4 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 с металлическими затяжками необходимо производить только в вертикальном (проектном) положении, без затяжек и с деревянными затяжками - как в вертикальном, так и в горизонтальном 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 предусматривать только в одной накладке. Через них сквозные отверстия сверлят по месту.

– Клееные деревянные конструкций, при сопряжении (контакте) с более теплопроводными материалами (бетон, сталь и др.), предусматривать устройство между ними гидроизоляционных прокладок или эпоксидной шпаклевки.

6.5 Клееные деревянные конструкции в пролетных строениях в том числе деревоплита должна быть защищены от атмосферных осадков, других возможных жидкостей и ультрафиолетового излучения:

– с верху гидроизоляцией и системой водоотведения относящихся к конструкции мостового полотна;

– с боку вентилируемым фасадом.

Горизонтальные поверхности КДК должны быть снабжены защитой от нахождения птиц специальными игольчатыми заграждениями.

Полости вентилируемых фасадов должны быть закрыты металлической сеткой с ячейкой 3х3мм или отверстием диаметром 3мм от грызунов, птиц и насекомых с площадью пропускания воздуха не менее 200см2 на 1м.п.

– Низ КДК пролетных строений должны быть выше:

– 0,6м от уровня грунта;

– 0,2м. от подферменника.

6.6 Несущую плиту выполнять по требованиям раздела 12.

6.7 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.

6.8 При проектировании деревянных конструкций:

– 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.

6.9 Напряжения и деформации в деревянных конструкциях от изменения температуры древесины, а также от усушки или разбухания древесины вдоль

волокон учитывать не следует.

6.10 При пролетах деревянных без распорных конструкций более 30 м одна из опор должна быть подвижной.

Главные балки пролетных строений длиной 15 м и более, устанавливать на резиновые опорные части.

6.11 Действие сил трения при расчете деревянных конструкций следует учитывать:

а) если равновесие системы обеспечивается только трением при условии постоянного прижатия элемента и отсутствии динамической нагрузки; при этом коэффициент трения дерева по дереву следует принимать равным:

- торца по боковой поверхности - 0,3;

- боковых поверхностей - 0,2;

б) если трение ухудшает условия работы конструкций и соединений, то коэффициент трения следует принимать равным 0,6.

6.12 Пространственную жесткость и устойчивость деревянных конструкций следует обеспечивать постановкой горизонтальных и при необходимости вертикальных связей по расчету. Связевые блоки следует располагать непрерывно.

По длине сооружения поперечные связи следует располагать в плоскости верхнего пояса сквозных или в верхней зоне сплошных несущих конструкций.

В качестве поясов связевых ферм следует использовать верхние пояса или все сечение несущих конструкций.

6.13 Стыки деревянных растянутых элементов следует осуществлять совмещенными в одном сечении, перекрывая их накладками на стальных цилиндрических нагелях и соединениях на вклеенных стержнях по п.11.4.7.

Конструкция стыков растянутых элементов должна обеспечивать осевую передачу растягивающего усилия.

Стык по длине должен быть вынесен за зону влияния других узлов. Запрещается совмещать в одном узле стыки элементов по длине и другие узлы.

6.14 Запрещается применять узлы и стыки с соединениями различной податливости, а также стыки, в которых часть деревянных элементов соединена непосредственно, а часть - через промежуточные элементы и соединения.

6.15 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 должен учитываться расчетом.

6.16 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 3 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 $0{,}25d_б$.

6.17 При пролетах более 24 м следует использовать преимущественно статически определимые конструкции.

В шарнирных узлах необходимо обеспечивать возможность их поворота без появления дополнительных внутренних усилий.

При проектировании КДК предусматривать мероприятия, предотвращающие:

- скалывание древесины (например, армирование древесины вклеенными стержнями).

- поперечное расслаивание древесины (например, поперечное армирование древесины вклеенными стержнями).

6.18 При проектировании КДК исключать усилия, растягивающие древесину поперек волокон.

6.19 Клееные деревянные конструкции должны быть постоянного сечения. Подрезки и ослабления допускаются в местах стыков и соединений, указанных в данном стандарте. Расчеты в ослабленном сечении должны производится на соответствующие усилия, по ослабленному сечению нетто, за исключением особо оговоренных случаев в данном 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 непосредственного увлажнения атмосферными осадками. Устройство закрытых стыков (накладки со всех сторон) не допускается.

7.2 После антисептирования элементов не допускается какая-либо их обработка, кроме сверления отверстий для установки скрепляющих изделий.

Просверленные отверстия в антисептированной древесине перед установкой скрепляющих изделий необходимо обработать тем же средством в три слоя.

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

7.4 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.

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

7.6 Главные балки должны быть связаны между собой и закреплены на опорах от продольных и поперечных перемещений.

7.7 Усилия от поперечных балок на пояса ферм должны передаваться центрировано через подушки, перекрывающие все ветви пояса.

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

7.9 Число ветвей стальных тяжей в решетчатых фермах должно быть не более двух.

На концах тяжей длина нарезки должна обеспечивать возможность необходимого натяжения тяжей гайками при строительстве и эксплуатации.

Для всех тяжей одного узла применять одну распределительную стальную пластину, с расчетом на смятие древесины под платиной и самой пластины на

изгиб.

7.10 В несущих болтах (тяжах) под головки и гайки ставить комплект: шайбу по ГОСТ 6958-78 и пружинную шайбу по ГОСТ 6402-70.

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. В случае работы 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.

7.11 Все гайки на болтах (тяжах) должны быть закреплены от раскручивания контргайками или самоконтрящимися гайками.

8 Материалы

8.1 Клееные деревянные конструкции должны соответствовать требованиям ГОСТ Р ПНС – 1.2.418-1.394.24.

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 по требованиям ГОСТ Р ПНС – 1.2.418-1.394.24.

8.4 Плотность КДК назначается с учетом условий эксплуатации и применяемых пород древесины (согласно 8.1) и принимается равной 600 $кг/м^3$, для определения собственного веса конструкций при расчете.

8.5 Для стальных элементов деревянных конструкций применять стали по требованиям ГОСТ Р 59623-2021, арматурные стали по требованиям по ГОСТ Р 59622-2021.

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

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

Стержни должны быть защищены от коррозии гальваническим или термодиффузионным цинкованием толщиной до 60 мкм.

Холодное цинкование не допускается

8.7 Гвозди применять по ГОСТ 4028-63 с цинковым покрытием.

8.8 Шурупы по данным приложения А.

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

9 Расчетные характеристики КДК

9.1 Расчетные сопротивления клееных деревянных конструкций, соответствующие сортам, следует определять по формуле

$$R^{\text{р}} = R^{A} m_{\text{дл}} m_{\text{ц}} \Pi m_{i}, \qquad (9.1)$$

где R^{A}- расчетное сопротивление клееной древесины, МПа, влажностью 12%, приведенное в таблице 9.1 и в соответствующих случаях по пунктам 9.2-9.6

$m_{\text{дл}}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения (таблица 9.4);

$m_{\text{ц}}$ - коэффициент циклической нагрузки согласно 9.8;

Πm_{i} - произведение коэффициентов условий работы (9.9).

Т а б л и ц а 9.1

Напряженное состояние и характеристика клееных деревянных элементов	Обозначение	Расчетное сопротивление, $R_{\text{р}}^{\text{А}}$ МПа, соответствующее сортам древесины	
		1	2
1 Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:	$R_{\text{и}}^{\text{А}}$, R_{c}^{A}, $R_{\text{см}}^{\text{А}}$	21	19,5
а) элементы прямоугольного сечения [за исключением указанных в б), в)] высотой не более 50 см.			
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:	$R_{\text{р}}^{\text{А}}$	18	13,5
3 Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{\text{с90}}^{\text{А}}, R_{\text{см90}}^{A}$	2,7	2,7

Продолжение таблицы 9.1

4 Смятие поперек волокон местное:	$R^{A}_{см90}$		
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов		4,5	4,5
б) под шайбами при углах смятия от 90 до 60°		6	6
5 Скалывание вдоль волокон:	$R^{А}_{ск}$		
а) при изгибе		2,4	2,25
б) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения		3,2	3,2
6 Скалывание поперек волокон в соединениях	$R^{А}_{ск90}$	1,05	1,05
7 Растяжение поперек волокон	$R^{А}_{р90}$	0,23	0,15
8 Срез под углом к волокнам 45°	$R^{А}_{ср45}$	9	7,5
9 Срез под углом к волокнам 90°	$R^{А}_{ср90}$	16,5	13,5

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 позиции 4 таблицы 9.1) вычисляют по формуле

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

где $R^{А}_{с90}$ - 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 вычисляют по формуле

$$R^{A}_{см\alpha} = \frac{R^{А}_{см}}{1+\left(\frac{R^{А}_{см}}{R^{А}_{см90}}-1\right) sin^{3}\alpha}, \tag{9.3}$$

9.4 Расчетное сопротивление древесины растяжению под углом α к направлению волокон вычисляют по формуле

$$R^{A}_{р\alpha} = \frac{R^{А}_{р}}{1+\left(\frac{R^{А}_{р}}{R^{А}_{р90}}-1\right) sin^{3}\alpha}, \tag{9.4}$$

9.5 Расчетное сопротивление древесины скалыванию под углом α к направлению волокон определяется по формуле

$$R^{A}_{ск\alpha} = \frac{R^{А}_{ск}}{1+\left(\frac{R^{А}_{ск}}{R^{А}_{ск90}}-1\right) sin^{3}\alpha}, \tag{9.5}$$

9.6 Расчетные сопротивления клееных деревянных конструкций, соответствующих классам прочности, определять по формуле

$$R^{\text{р}} = \frac{R^{\text{н}} m_{\text{дл}}\, m_{\text{ц}}\, \Pi m_i}{\gamma_m}, \qquad (9.6)$$

где $R^{\text{н}}$- нормативная прочность материала, МПа, указанная в таблице 9.2;

γ_m- коэффициент надежности по материалу (таблица 9.3)

9.7 Физико-механические характеристики КДК, установленные для классов прочности К24, К26, К28, К32 и К36, приведены в таблице 9.2.

Т а б л и ц а 9.2

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

Т а б л и ц а 9.3

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

Т а б л и ц а 9.4

Обозначение режимов нагружения	Характеристика режимов нагружения	Приведенное расчетное время действия нагрузки, с	Коэффициент длительной прочности $m_{дл}$
А	Линейно возрастающая нагрузка при стандартных машинных испытаниях	1 - 10	1,0
Б	Совместное действие постоянной и длительной временной нагрузок, напряжение от которых превышает 80% полного напряжения в элементах конструкций от всех нагрузок	10^8 - 10^9	0,53
В	Совместное действие постоянной, нагрузки от пешеходов и снеговой нагрузки	10^6 - 10^7	0,66
Г	Совместное действие постоянной и снеговой нагрузки	10^6 - 10^7	0,66
Д	Независимые группы нагрузок: – Совместное действие постоянной и ветровой нагрузок; – Совместное действие постоянной, снеговой и ветровой нагрузок; – Совместное действие постоянной и от подвижного состава; – Совместное действие постоянной, от подвижного состава и ветровой нагрузки.	10^3 - 10^4	0,8
Е	Совместное действие постоянной и монтажной нагрузок	10^3 - 10^4	0,8
Ж	Совместное действие постоянной и сейсмической нагрузок	10 - 10^2	0,92
И	Действие импульсных и ударных нагрузок	10^{-1} - 10^{-8}	1,1
К	Совместное действие постоянной и кратковременной снеговой нагрузок в условиях пожара	10^3 - 10^4	0,8
П р и м е ч а н и е - Для определения процентов от полного напряжения для режима Б рассматриваются расчетные нагрузки.			

9.8 При расчете на выносливость коэффициент циклической нагрузки $m_ц$ определяется по таблице 9.5. При расчете, не предусматривающий расчеты на выносливость по ГОСТ 33390-2015, коэффициент $m_ц$ = 1.

ρ - коэффициент асимметрии нагрузки определять 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.

Т а б л и ц а 9.5

Напряженное состояние элементов и соединений	Коэффициент циклической нагрузки $m_ц$ при ρ - коэффициент асимметрии нагрузки							
	-1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Изгиб	0,25	0,56	0,61	0,67	0,72	0,78	0,83	0,88
Растяжение вдоль волокон	-							
Сжатие и смятие вдоль и поперек волокон	-	0,81	0,85	0,89	0,91	0,94	0,97	0,98
Скалывание вдоль волокон, соединения на вклеенных стержнях вдоль волокон.	0,25	0,61	0,67	0,71	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

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

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

б) конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха:

– ниже плюс 35°С, коэффициент $m_т$ = 1;

– при температуре плюс 50°С - коэффициент $m_т$ = 0,8.

Для промежуточных значений температуры коэффициент принимают по интерполяции;

в) изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов прямоугольного сечения высотой более 50 см 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 $m_{\text{о}}$ = 0,8;

д) элементов, подвергнутых глубокой пропитке антипиренами под давлением, - коэффициент $m_{\text{а}}$ = 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 $m_{\text{сл}}$, указанный в таблице 9.7;

ж) гнутых элементов конструкций значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу - коэффициент $m_{\text{гн}}$, указанный в таблице 9.8;

и) для смятия поперек волокон при режимах нагружения Г-К (таблица 9.4) - коэффициент $m_{\text{см}}$ = 1,15.

Т а б л и ц а 9.6

Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент $m_{\text{б}}$	1	0,96	0,93	0,90	0,85	0,8

Т а б л и ц а 9.7

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

Т а б л и ц а 9.8

Напряженное состояние	Обозначение расчетных сопротивлений	Коэффициент $m_{\text{гн}}$ при отношении $r_{\text{к}}/a$		
		200	250	500 и более
Сжатие и изгиб	$R_{c.}$ $R_{\text{и}}$	0,9	1	1
Растяжение	$R_{\text{р}}$	0,7	0,8	1
П р и м е ч а н и е - $r_{\text{к}}$ - радиус кривизны гнутой доски; a - толщина гнутой доски в радиальном направлении.				

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

$$E^{II}(G^{II}) = E_{\text{ср}}\left(G_{\text{ср}}\right) m_{\text{дл},E} \Pi_{m_i}, \tag{9.9}$$

где $E_{\text{ср}}\left(G_{\text{ср}}\right)$ - средний модуль упругости при изгибе (модуль сдвига), МПа:

а) для КДК соответствующих сортам среднее значение модуля упругости:

– вдоль волокон $E_{0,\text{ср}}$ = 10 Гпа;

– поперек волокон $E_{90,\text{ср}}$ = 0,4 Гпа.

б) для КДК соответствующих классам прочности по таблице 9.2;

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

$m_{\text{дл},E}$ - коэффициент длительности для упругих характеристик, для режима нагружения (таблица 9.4):

– режим нагружения Б $m_{\text{дл},E} = 0{,}75$;

– режим нагружения В и Г $m_{\text{дл},E} = 0{,}9$;

– для остальных режимов нагружения $m_{\text{дл},E} = 1$.

Π_{m_i} - произведение коэффициентов условий работы по 9.9 а), 9.9 б).

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

$$E^I(G^I) = E_{\text{н}}(G_{\text{н}})\, m_{\text{дл},E}\Pi_{m_i}, \qquad (9.10)$$

где $E_{\text{н}}(G_{\text{н}})$ - нормативный модуль упругости при изгибе (нормативный модуль сдвига), МПа,

– для КДК соответствующих сортам согласно (9.12);

– для КДК соответствующих классам прочности по таблице 9.2.

$m_{\text{дл},E}$ и Π_{m_i} – в соответствии с 9.10.

9.12 Для КДК соответствующих сортам:

а) нормативное значение модуля упругости:

– вдоль волокон - $E_{0,\text{н}}$ = 7 ГПа;

– поперек волокон - $E_{90,\text{н}}$ = 0,28 ГПа;

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

9.13 Коэффициент Пуассона древесины:

- поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, следует принимать равным $\nu_{90,0}$ =0,45;

- вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон,

- $\nu_{0,90}$ =0,018.

9.14 Расчетный модуль упругости в расчетах конструкций на устойчивость следует принимать равным для клееной древесины по формуле

$$E^I = 300\, R_{\text{с}}^{\text{Н}}\,, \qquad (9.10)$$

где $R_{\text{с,н}}$ - нормативное сопротивление сжатию вдоль волокон:

а) для КДК соответствующих сортам:

– для 1- сорта $R_{\text{с,н}} = 25$ МПа;

– для 2- сорта $R_{\text{с,н}} = 23$ МПа.

б) для КДК соответствующих классам прочности по таблице 9.2.

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 требования

10.1.1 Расчет элементов производить в два этапа: первый этап расчет на прочность и устойчивость; второй этап расчет на выносливость, соответствующие коэффициенты применяются по ГОСТ 33390 – 2015.

10.1.2 При расчете конструкций пролетных строений:

– не учитывать напряжения и деформации от изменения температуры, а также возникающие при усушке и разбухании древесины за исключением конструкций имеющие такие данные;

– действие сил трения учитывать только в случаях, когда трение ухудшает условия работы конструкции или соединения (коэффициент трения дерева по дереву в этих случаях допускается принимать равным 0,6);

– учитывать изменение температуры среды при определении возникающей при этом дополнительной силы на контакте дерева с металлом 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 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 следует производить по формуле

$$\frac{N}{F_{\text{нт}}} \leq R_{\text{р}}, \tag{10.1}$$

где N- расчетная продольная сила;

$R_{\text{р}}$- расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон;

$F_{\text{нт}}$- площадь нетто поперечного сечения элемента.

При определении $F_{\text{нт}}$, 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 следует производить по формулам:

а) на прочность

$$\frac{N}{F_{\text{нт}}} \leq R_{\text{с}}; \tag{10.2}$$

б) на устойчивость

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{\text{расч}}} \leq R_{\text{с}}; \tag{10.3}$$

где $R_{\text{с}}$- расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон;

φ- коэффициент продольного изгиба, определяемый согласно 10.2.3;

$F_{\text{нт}}$ - площадь нетто поперечного сечения элемента;

$F_{\text{расч}}$ - расчетная площадь поперечного сечения элемента, принимаемая равной:

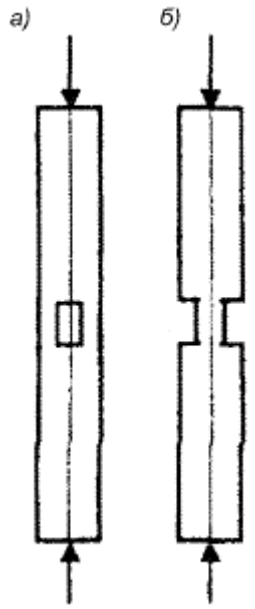
а) при отсутствии ослаблений или ослаблениях в опасных сечениях, не выходящих на кромки как показано на рисунке 10.1 *а*);

– если площадь ослаблений не превышает 25% $F_{\text{бр}}$, $F_{\text{расч}} = F_{\text{бр}}$,

– где $F_{\text{бр}}$- площадь сечения брутто;

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

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



а) - не выходящие на кромку; *б)* - выходящие на кромку

Рисунок 10.1 - Ослабление сжатых элементов

10.2.3 Коэффициент продольного изгиба φ следует определять по формулам:

при гибкости элемента $\lambda < 70$

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

при гибкости элемента $\lambda > 70$

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2}; \quad (10.5)$$

где коэффициент $a = 0{,}8$;

коэффициент $A = 3000$.

10.2.4 Гибкость элементов цельного сечения определять по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{r}, \quad (10.6)$$

где l_0 - расчетная длина элемента;

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

10.2.5 Расчетную длину элемента l_0 определять 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 $F_{\text{нт}}$ и $F_{\text{расч}}$ определять как суммарные площади всех ветвей.

Гибкость составных элементов λ следует определять с учетом податливости соединений по формуле

$$\lambda = \sqrt{(\mu_y \cdot \lambda_I)^2 + \lambda_I^2}\ , \tag{10.8}$$

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

λ_I- гибкость отдельной ветви относительно оси I-I (рисунок 10.2), вычисленная по расчетной длине ветви l_1; при l_1 меньше семи толщин h_1ветви принимаются с $\lambda_I = 0$;

μ_y - коэффициент приведения гибкости, определяемый по формуле

$$\mu_y = \sqrt{1 + k_c \cdot \frac{b \cdot h \cdot n_{\text{ш}}}{l_0^2 \cdot n_c}}\ , \tag{10.9}$$

где b и h - ширина и высота поперечного сечения элемента, см;

$n_{\text{ш}}$- расчетное число швов в элементе, определяемое числом швов, по которым суммируется взаимный сдвиг элементов как показано на рисунке 10.2 *а*) - четыре шва, 10.2 *б*) - пять швов;

l_0 - расчетная длина элемента, м;

$n_{\text{с}}$- 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);

$k_{\text{с}}$- коэффициент податливости соединений, который следует определять по формулам таблицы 10.1.

Т а б л и ц а 10.1

Вид связей	Коэффициент k_c	
	при центральном сжатии	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	$\frac{1{,}5}{a \cdot d}$	$\frac{1}{a \cdot d}$
3 Вклеенные стержни из арматуры периодического профиля	$\frac{1}{10d^2}$	$\frac{1}{5d^2}$
4 Клей	0	0
П р и м е ч а н и е - Диаметры, шурупов, нагелей и вклеенных стержней d, толщина более тонкого из соединяемых элементов a, ширина $b_{пл}$ и толщина δ пластинчатых нагелей 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, вычисленную по формуле (10.8), следует принимать не более гибкости λ_1 отдельных ветвей, рассчитываем по формуле

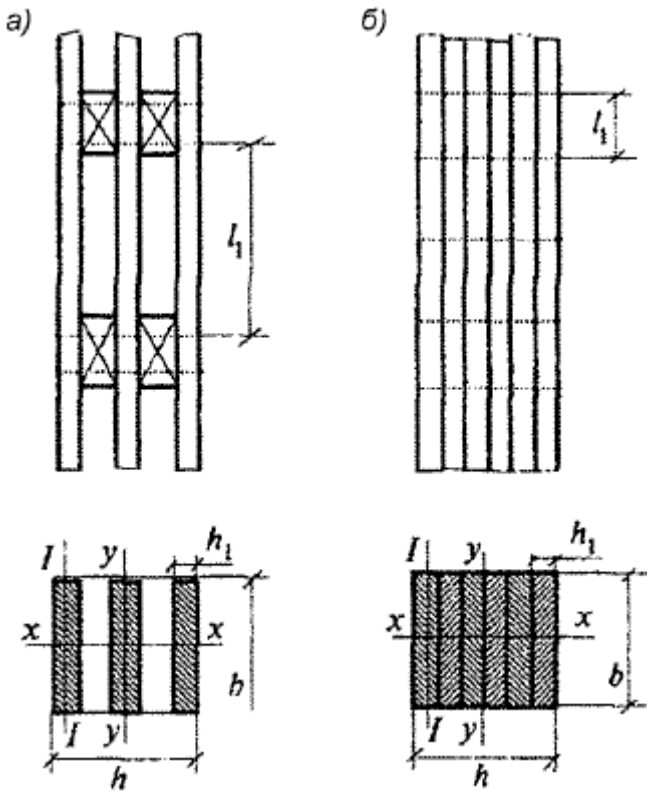
$$\lambda = \frac{l_1}{\sqrt{\frac{\sum I_{i,бр}}{F_{бр}}}}, \qquad (10.10)$$

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

$F_{бр}$ - площадь сечения брутто элемента;

l_1- расчетная длина ветви элемента.

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



а) - с прокладками; *б)* - без прокладок

Рисунок 10.2 - Составные элементы

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 (рисунок 10.2) 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 (рисунок 10.2) момент инерции следует вычислять по формуле

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

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

10.2.8 Расчет изгибаемых элементов, обеспеченных от потери устойчивости плоской формы деформирования (см. 10.2.12), на прочность по нормальным напряжениям следует выполнять по формуле

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

где M - расчетный изгибающий момент;

$R_{\text{и}}$- расчетное сопротивление изгибу;

$W_{\text{расч}}$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента.

10.2.9 Расчет изгибаемых элементов на прочность по скалыванию следует выполнять по формуле

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

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 следует выполнять по формуле

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

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 (гнутые) участки (рисунок 10.3) КДК, изгибаемые моментом M, уменьшающим их кривизну, следует рассчитывать:

а) по тангенциальным нормальным напряжениям на внутренней и наружной кромках элемента по формулам

$$\sigma_{\theta,\text{в}} = \frac{M \cdot (r_0 - r_1)}{F \cdot y_0 \cdot r_1} \leq R_{\text{и}}, \tag{10.15}$$

$$\sigma_{\theta,\text{н}} = \frac{M \cdot (r_2 - r_0)}{F \cdot y_0 \cdot r_2} \leq R_{\text{и}}, \tag{10.16}$$

где $\sigma_{\theta,\text{в}}$, $\sigma_{\theta,\text{н}}$ - тангенциальные нормальные напряжения на внутренней (ближней к

центру кривизны) и наружной кромках элемента соответственно;

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

$$\sigma_{r\,max} = \left(\frac{M}{F \cdot y_0}\right) \cdot \left[\frac{r_0}{r_1} - ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right) - 1\right] \leq R_{р90}, \qquad (10.17)$$

где $R_{р90}$ - расчетное сопротивление КДК растяжению поперек волокон.

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

$$N_s = 5(\sigma_{r\,max} - 0{,}8R_{р90})\frac{bh^2}{l_2}, \qquad (10.18)$$

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

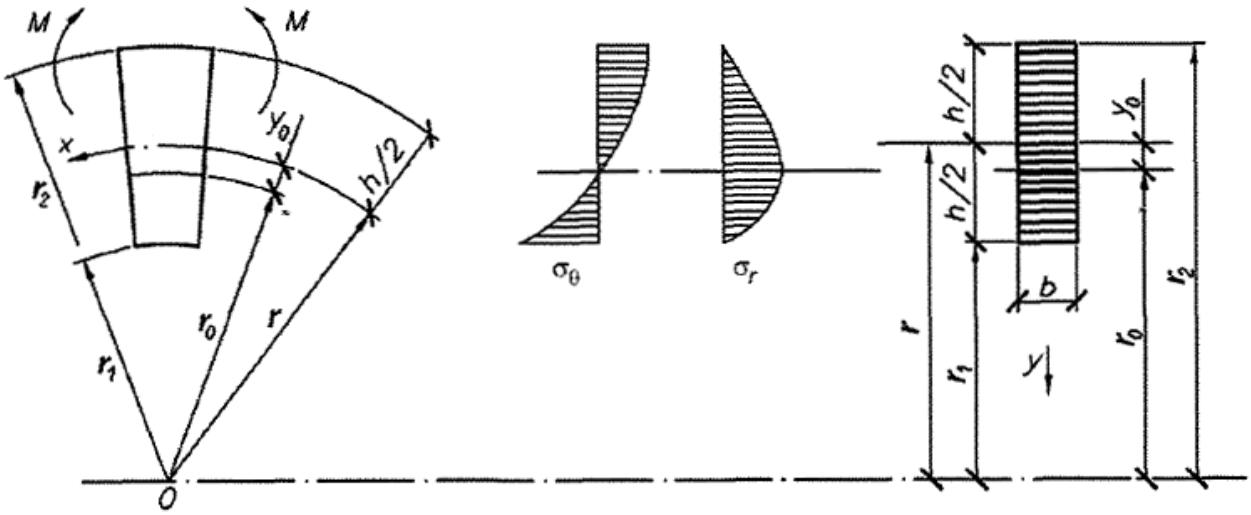


Рисунок 10.3 - Расчетная схема гнутого элемента при чистом изгибе

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

$$\frac{M}{\varphi_M \cdot W_{\text{бр}}} \leq R_{\text{и}}, \tag{10.19}$$

где M- максимальный изгибающий момент на рассматриваемом участке $l_{\text{р}}$;

$W_{\text{бр}}$ - максимальный момент сопротивления брутто на рассматриваемом участке $l_{\text{р}}$.

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

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_{\text{р}} \cdot h} k_{\text{ф}}, \tag{10.20}$$

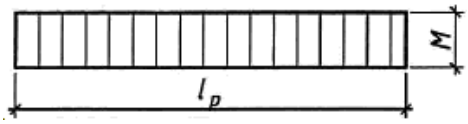
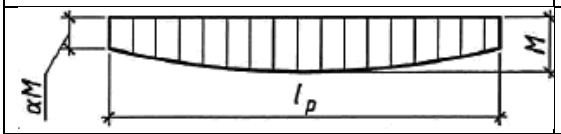
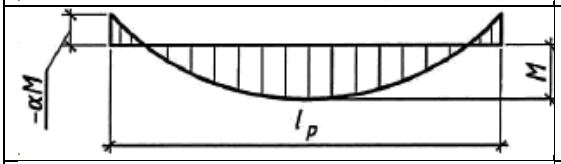
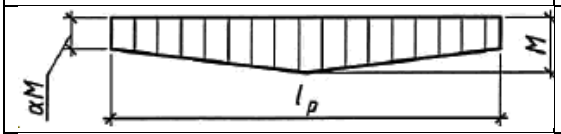
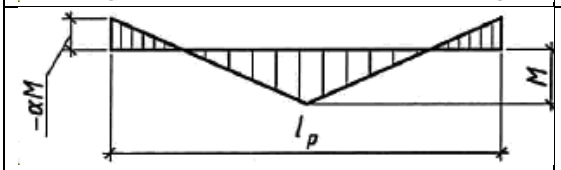
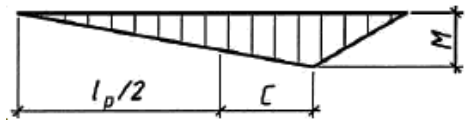
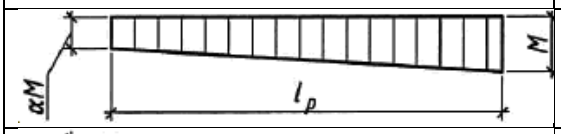
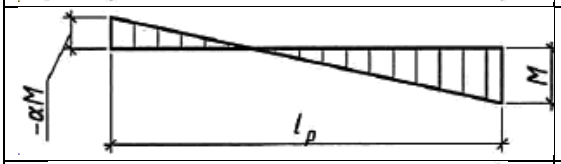
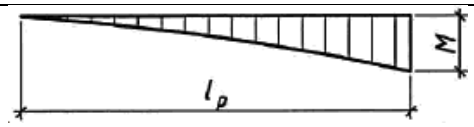
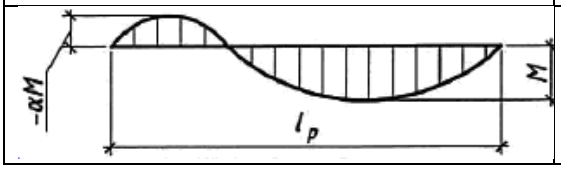
где $l_{\text{р}}$- расстояние между опорными сечениями элемента, а при закреплении сжатой кромки элемента в промежуточных точках от смещения из плоскости изгиба - расстояние между этими точками;

b - ширина поперечного сечения;

h - максимальная высота поперечного сечения на участке $l_{\text{р}}$;

$k_{\text{ф}}$- коэффициент, зависящий от формы эпюры изгибающих моментов на участке $l_{\text{р}}$, определяемый по таблице 10.2

Т а б л и ц а 10.2

Форма эпюры моментов	$k_ф$	
	При закреплении только по концам участка $l_р$	При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке
	1	
	$1{,}13 - 0{,}13\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	
	$1{,}13 - \alpha \cdot (0{,}12 + 0{,}02\alpha)$ $-2 \le \alpha \le 0$	
	$1{,}35 - 0{,}35\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	
	$1{,}35 - 0{,}35\alpha$ $-1 \le \alpha \le 0$	$\frac{4}{3+\alpha}$ $-1 \le \alpha \le 0$
	$1{,}35 + 1{,}45\left(\frac{C}{l_р}\right)^2$	$1{,}35 + 0{,}3\left(\frac{C}{l_р}\right)$
	$1{,}75 - 0{,}75\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	$\frac{3}{2+\alpha}$ $0 \le \alpha \le 1$
	$1{,}75 - 0{,}75\alpha$ $0 \le \alpha \le 1$	$\frac{3}{2+\alpha}$ $-2 \le \alpha \le 0$
	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 $\varphi_М$, вычисляемый по формуле (10.20), следует умножать на коэффициент $k_{пМ}$ вычисляемый по формуле

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

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 ≥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 следует выполнять по формуле

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

где M - изгибающий момент;

$W_{расч}$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения;

$F_{расч}$ - площадь расчетного сечения нетто.

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

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

где $M_Д$ - изгибающий момент от действия поперечных и продольных нагрузок, определяемый из расчета по деформированной схеме;

Примечания

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

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

M - изгибающий момент в расчетном сечении без учета дополнительного

момента от продольной силы;

φ - коэффициент, рассчитываемый по формуле (10.5);

$R_{\text{с}}$ - расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон.

2 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 $k_{\text{н}}$ вычисляемый по формуле

$$k_{\text{н}} = \alpha_{\text{н}} + \xi \cdot (1 - \alpha_{\text{н}}), \tag{10.26}$$

где $\alpha_{\text{н}}$ - 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).

3 При несимметричной нагрузке шарнирно-опертых элементов величину изгибающего момента $M_{\text{Д}}$ допускается определять по формуле

$$M_{\text{Д}} = \frac{M_{\text{с}}}{\xi_{\text{с}}} + \frac{M_{\text{к}}}{\xi_{\text{к}}}, \tag{10.27}$$

где $M_{\text{с}}$ и $M_{\text{к}}$- изгибающие моменты в расчетном сечении элемента от симметричной и кососимметричной составляющих нагрузки;

$\xi_{\text{с}}$ и $\xi_{\text{к}}$ - коэффициенты, рассчитываемые по формуле (10.25) при величине гибкости, соответствующей симметричной и кососимметричной формам продольного изгиба.

4 Сжато-изгибаемые элементы следует проверять также на устойчивость без учета изгибающего момента по формуле (10.3) при условии $\frac{\sigma_{\text{и}}}{\sigma_{\text{с}}} < 0{,}1$

где $\delta_{\text{и}}$ – напряжение от изгибающего момента;

$\delta_{\text{с}}$ – 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

$$\frac{Q \cdot S'_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}} \cdot b_{\text{расч}}} + \Delta\tau \leq R_{\text{ск}}, \tag{10.28}$$

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;

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

e - эксцентриситет передачи усилия N

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

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

а) на внутренней кромке

$$\sigma_{\theta,\text{в}} = \frac{M_{\text{Д}} \cdot (r_0 - r_1)}{F \cdot y_0 \cdot r_1} + \frac{N}{F}, \tag{10.29}$$

б) на наружной кромке

$$\sigma_{\theta,\text{н}} = \frac{M_{\text{Д}} \cdot (r_2 - r_0)}{F \cdot y_0 \cdot r_2} - \frac{N}{F}, \tag{10.30}$$

где N и $M_{\text{Д}}$ - абсолютные значения внутренних усилий.

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

$$\frac{N}{\varphi \cdot R_c \cdot F_{\text{бр}}} + \left(\frac{M_{\text{Д}}}{\varphi_{\text{М}} \cdot R_{\text{и}} \cdot W_{\text{бр}}}\right)^n \leq 1, \tag{10.31}$$

где $F_{\text{бр}}$ - площадь брутто с максимальными размерами сечения элемента на участке $l_{\text{р}}$;

φ - коэффициент продольного изгиба, определяемый по формуле (10.5) для гибкости участка элемента с расчетной длиной $l_{\text{р}}$ из плоскости деформирования;

$\varphi_{\text{М}}$ - 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 $l_{\text{р}}$ закреплений из плоскости деформирования со стороны, растянутой от момента M кромки, коэффициент $\varphi_{\text{М}}$ следует умножать на коэффициент $k_{\text{пМ}}$, рассчитываемый по формуле (10.21), а коэффициент $\varphi_{\text{М}}$ - на коэффициент $k_{\text{п}N}$ по формуле

$$k_{\text{п}N} = 1 + \left[0{,}75 + 0{,}06\left(\frac{l_{\text{р}}}{h}\right)^2 + 0{,}6\alpha_{\text{р}} \cdot \frac{l_{\text{р}}}{h} - 1\right] \cdot \frac{m^2}{m^2+1}, \tag{10.32}$$

где - $\alpha_{\text{р}}, l_{\text{р}}, h, m$ - 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

$$\frac{N}{F_{\text{бр}}} + \frac{M}{W_{\text{бр}}} \leq \varphi_1 \cdot R_{\text{с}}, \qquad (10.33)$$

где $F_{\text{бр}}$, $W_{\text{бр}}$ - 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 $n_{\text{с}}$, равномерно расставленных в каждом шве сжато-изгибаемого составного элемента на участке с однозначной эпюрой поперечных сил, при приложении сжимающей силы по всему сечению следует вычислять по формуле

$$n_c \geq \frac{1{,}5 M_{\text{Д}} \cdot S'_{\text{бр}}}{T \cdot I_{\text{бр}}}, \qquad (10.34)$$

где $M_{\text{Д}}$- изгибающий момент, определяемый по 10.2.14;

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

T - расчетная несущая способность одной связи в данном шве;

$I_{\text{бр}}$ - 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 нагрузки 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:

– при проверке устойчивости в плоскости конструкций - расстоянию от центра

узла до точки пересечения элементов;

– проверке устойчивости из плоскости конструкции в случае пересечения:

а) двух сжатых элементов - полной длине элемента;

б) сжатого элемента с неработающим – величине l_1 , умноженной на коэффициент μ_0:

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

где l_1, λ_1, F_1 - полная длина, гибкость и площадь поперечного сечения сжатого элемента;

l_2, λ_2, F_2 - длина, гибкость и площадь поперечного сечения неработающего элемента.

Величину μ_0 следует принимать не менее 0,5;

в) 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.

Т а б л и ц а 10.3

Наименование элементов конструкций	Предельная гибкость $\lambda_{\text{макс}}$
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 по формуле

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

где σ_1 - значение главного растягивающего напряжения;

$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ - компоненты плоского напряженного состояния;

$R_{р\alpha}$ - расчетное значение сопротивления древесины при растяжении под углом α к направлению волокон, определяемое по 9.1.

Угол наклона α направления главного растягивающего напряжения σ_1 к волокнам древесины следует вычислять по формулам:

$$\alpha = \begin{cases} 0{,}5arct\left[\frac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}\right] & \text{при } \sigma_x - \sigma_y > 0 \\ 45° & \text{при } \sigma_x - \sigma_y = 0 \\ 0{,}5 \cdot \left\{180° + arct\left[\frac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}\right]\right\} & \text{при } \sigma_x - \sigma_y < 0 \end{cases}, \quad (10.37)$$

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, рассчитывать по формуле

$$\sigma_y = \sigma_{р90} = \frac{5P \cdot \eta_1}{b \cdot h_{оп}}, \quad (10.38)$$

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 $-0{,}25h_{оп} \leq y \leq +0{,}25h_{оп}$ рассчитывают по формуле

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

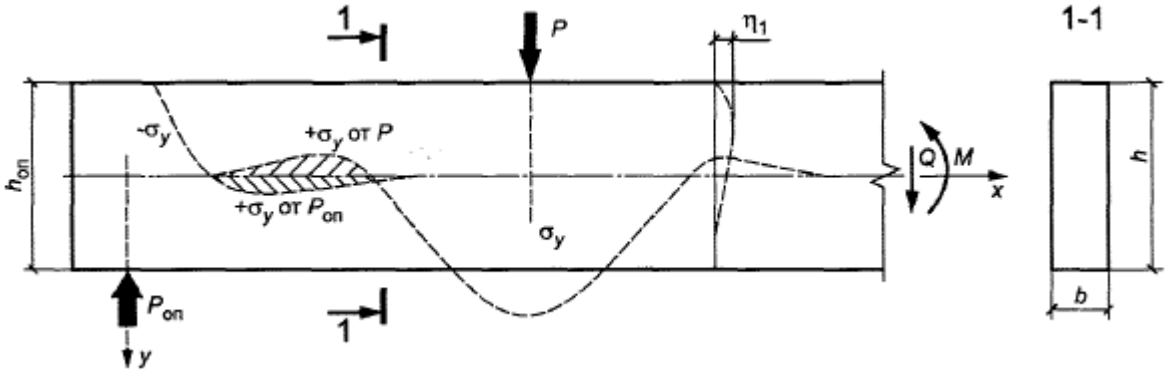


Рисунок 10.4 - Схема распределения напряжений σ_y в приопорной зоне балки

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, воспринимаемое наклонными стержнями, рассчитывают по формуле

$$N_{\text{р}} = 2 \cdot (\sigma_1 - 0{,}8R_{\text{р}\alpha}) \cdot b \cdot h_{\text{оп}}\ , \qquad (10.40)$$

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

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. Величину деформаций податливого соединения при полном использовании его несущей способности следует принимать по таблице 17, а при неполном - пропорциональной действующему на соединение усилию.

Величину деформаций податливого соединения следует делить на коэффициенты условия работы $m_{\text{в}}, m_{\text{дл}}$.

Т а б л и ц а 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 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 по ГОСТ 33384-2015.

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 следует определять по формуле

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

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.

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

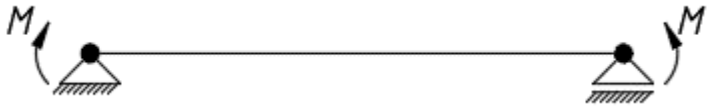
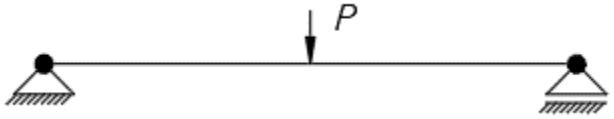
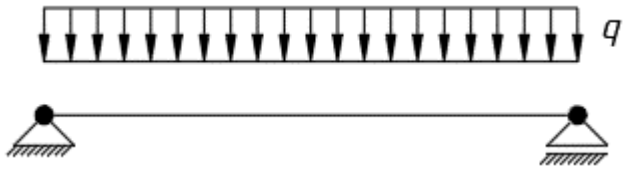
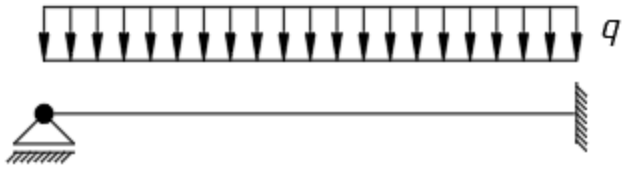
Допускается прогиб $f_Д$ рассчитывать по формуле

$$f_Д = \frac{f}{\xi}, \tag{10.42}$$

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

ξ- коэффициент, определяемый по формуле (10.25).

Т а б л и ц а 10.5

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	c
Прямоугольное		0
Прямоугольное		24
Прямоугольное		$\frac{48}{3-4\alpha^2}$
Прямоугольное		19.2
Прямоугольное		$\frac{12}{(2+\alpha)\cdot(1-\alpha)}$
Прямоугольное		8

11 Расчет соединений элементов деревянных конструкций

11.1 Общие указания

11.1.1 Расчет соединений производится в два этапа: первый этап расчет на прочность; второй этап расчет на выносливость, соответствующие коэффициенты применяются по ГОСТ 33390 – 2015.

11.1.2 Действующее на соединение (связь) усилие не должно превышать расчетной несущей способности соединения (связи) T.

11.1.3 Расчетную несущую способность соединений, работающих на смятие и скалывание, следует определять по формулам:

а) из условия смятия древесины

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

б) из условия скалывания древесины

$$T = R_{\text{ск}}^{\text{ср}} \cdot F_{\text{ск}}, \tag{11.2}$$

где $F_{\text{см}}$ - расчетная площадь смятия;

$F_{\text{см}}$ - расчетная площадь скалывания;

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

$R_{\text{ск}}^{\text{ср}}$ - расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон, определяемое по 11.1.4.

11.1.4 Среднее по площадке скалывания расчетное сопротивление древесины скалыванию следует определять по формуле

$$R_{\text{ск}}^{\text{ср}} = \frac{R_{\text{ск}}}{1+\beta\frac{l_{\text{ск}}}{e}}, \tag{11.3}$$

где $R_{\text{ск}}$ - расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (при расчете по максимальному напряжению), определяемое по 9.1, 9.6;

β - коэффициент, принимаемый равным 0,25 при расчете соединений, работающих по схеме, показанной на рисунке 6 *г*) и β =0,125 при расчете соединений, работающих по схеме согласно рисунку 6 *в)*, если обеспечено обжатие по плоскостям скалывания;

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

e - плечо сил скалывания, принимаемое равным:

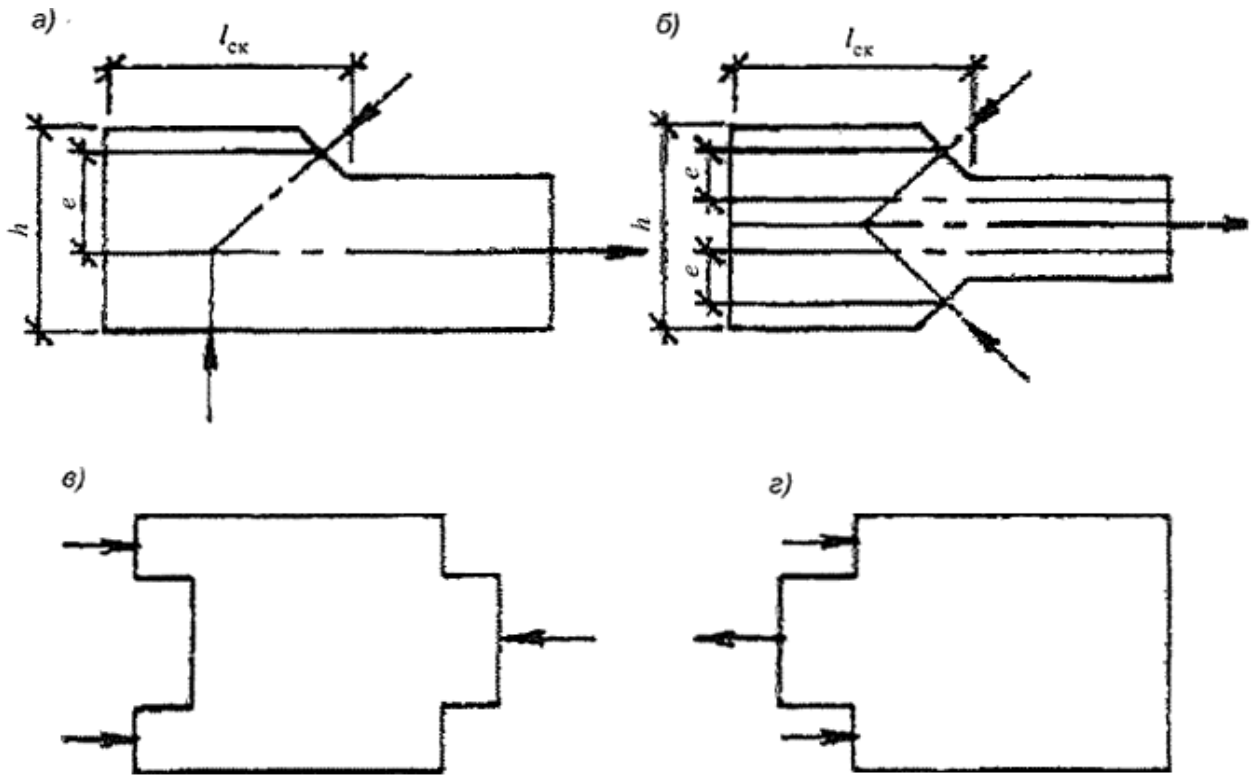
– 0,5h при расчете элементов с несимметричной врезкой в соединениях без

зазора между элементами (рисунок 6 *а*))

– 0,25h при расчете симметрично загруженных элементов с симметричной врезкой (рисунок 6 *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 (рисунок 11.2).

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

располагать перпендикулярно равнодействующей осевой и поперечной сил.

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

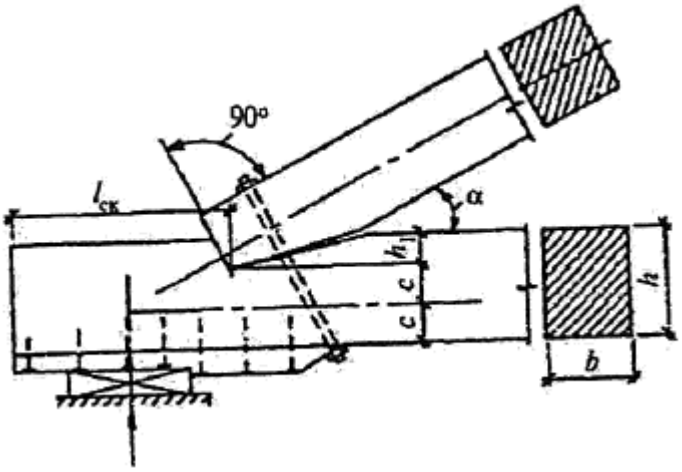


Рисунок 11.2 - Лобовая врубка с одним зубом

11.2.2 Лобовые врубки следует рассчитывать на скалывание согласно указаниям 11.1.2 и 11.1.3, принимая расчетное сопротивление скалыванию по пункту 5 таблицы 9.1.

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

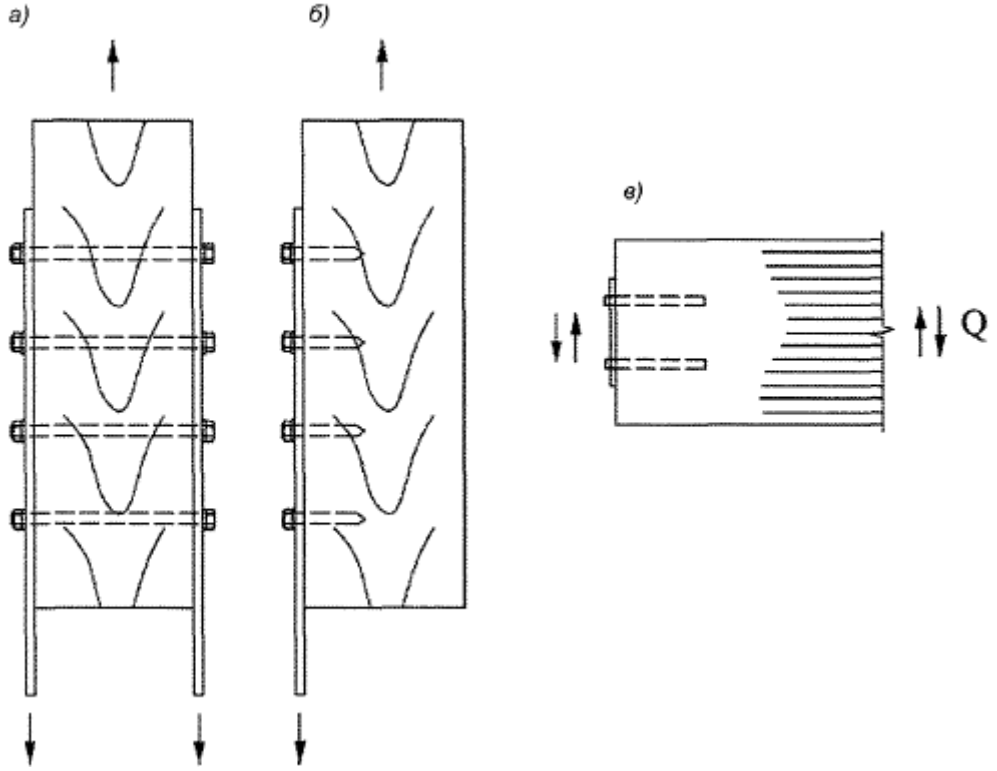
Глубину врубки следует принимать не более $\frac{1}{4}h$ в промежуточных узлах сквозных конструкций и не более $\frac{1}{3}h$ в остальных случаях, при этом глубина врубок h_1 в брусьях должна быть не менее 2 см.

11.2.4 Расчет на смятие лобовых врубок с одним зубом следует производить по плоскости смятия (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

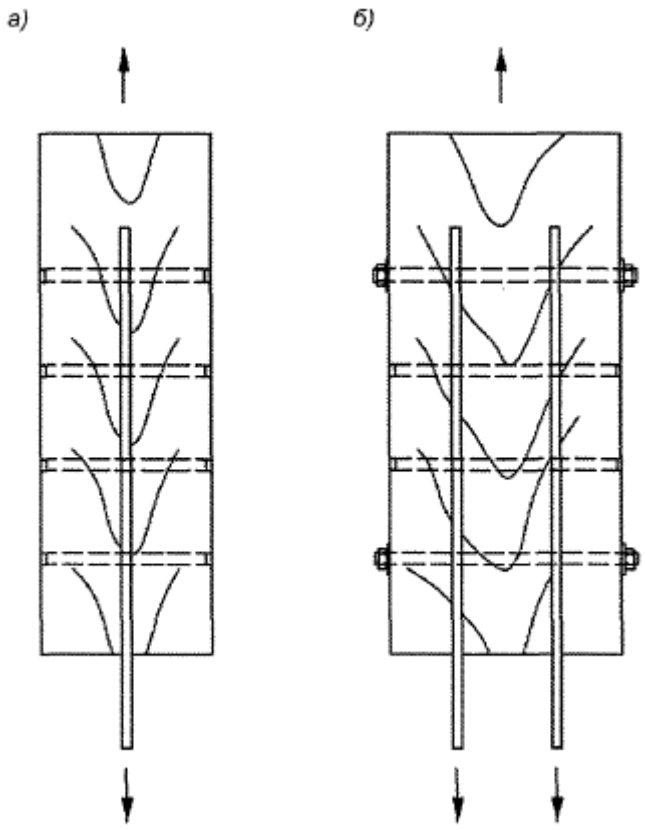
11.3.1 Цилиндрическими нагелями называются болты, шпильки, нагели, гвозди, шурупы, глухари, саморезы и т.п. в соединениях клееных элементов, работающих на сдвиг (рисунки 11.3 – 11.5)



а) - на болтах и шпильках; *б)* - на глухих цилиндрических нагелях;

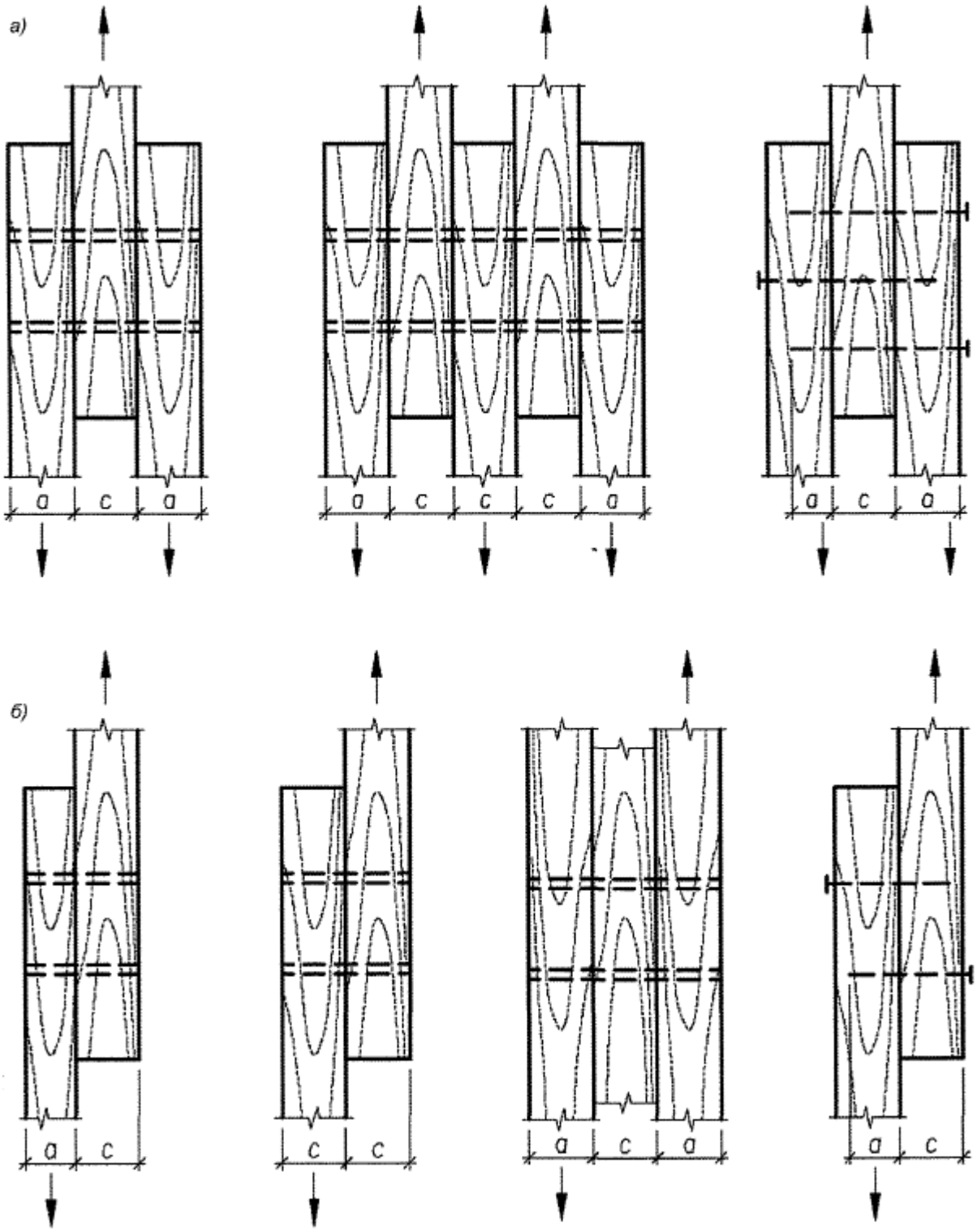
в) - на глухих цилиндрических нагелях, установленных в торец клееного элемента

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 Расчетная несущая способность цилиндрического нагеля T, на один шов сплачивания определяется из условия

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

где $T_{\text{см}}$ - несущая способность на смятие древесины под нагелем, определяемого по 11.3.3;

$T_{\text{и}}$ - несущая способность нагеля в расчете на изгиб, определяемого по 11.3.4;

$T_{\text{ит}}$ - несущая способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце определяемого по 11.3.5.

11.3.3 Несущая способность на смятие древесины под нагелем, $T_{\text{см}}$ определяется по формуле

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

где $T_{\text{см,н}}$ - 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, $k_{\alpha} = 1$, для смятия под нагелем в торце, $k_{\alpha} = 1$);

$m_{\text{дл}}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения (таблица 9.4);

Π_{m_i} - произведение коэффициентов условий работы по 9.9 а), 9.9 б), 9.9 д).

11.3.4 Несущая способность нагеля на изгиб (условный срез), $T_{\text{и}}$ определяется по формуле

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

где $T_{\text{и,н}}$ – определяется исходя из вида соединения:

- наименьшее значение несущей способности в соединениях без стальных накладок, вычисляемая по данным таблицы 11.1;

- наибольшее значение несущей способности в соединениях со стальными накладками и прокладками, вычисляемая 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);

$m_{\text{дл}}, \Pi m_i$ – по 11.3.3;

$m_и$ – коэффициент по 11.3.9.

11.3.5 Несущая способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце, $T_{ит}$ определяется по формуле

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

где $T_{и,н}$ – по 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– по 11.3.3;

$m_и$ – коэффициент по 11.3.9.

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 не нарезанной 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.

11.3.8 Расчет нагельных соединений на скалывание производить 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

$$m_и = 0{,}052\sqrt{R_{un}}, \quad (11.8)$$

где R_{un} - расчетное сопротивление стали растяжению по временному сопротивлению, МПа.

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

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

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.

Т а б л и ц а 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	$0{,}75cd$
	б) Смятие в крайних элементах	$1{,}2d$
2 Несимметричные соединения (рисунок 11.3 *б*))	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0{,}55cd$
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $\mathrm{a} \leq 0{,}5\mathrm{c}$	$0{,}4cd$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $\mathrm{a} \leq 0{,}35\mathrm{c}$	$1{,}2ad$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $\mathrm{c} > a > 0{,}35\mathrm{c}$	$1{,}5k_{\text{н}}ad$
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 ($R_{un} = 440\text{МПа}$)	$2{,}2d^2 + 0{,}025a^2$ 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 ($R_{un} = 440\text{МПа}$)	$2d^2$

П р и м е ч а н и я

1 В таблице:

– c - толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений;

– a - толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений;

– d - диаметр нагеля;

– толщина и диаметр приведены в сантиметрах.

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

а) расчетную несущую способность нагеля из условия смятия в среднем элементе толщиной c при значениях $c > a > 0{,}5c$ следует определять интерполяцией между значениями по пункту 2 а) и 2 б) настоящей таблицы;

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;

в) при определении расчетной несущей способности из условий изгиба нагеля толщину крайнего элемента a в пункте 3 таблицы следует принимать не более $0{,}6c$.

Продолжение таблицы 11.1

3 Значения коэффициента $k_н$ 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, несущая способность по изгибу определяется как для нагеля из стали С235.

Т а б л и ц а 11.2

Угол, град	Коэффициент k_α для стальных нагелей диаметром, мм			
	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

П р и м е ч а н и я

1 Значение k_α для промежуточных углов определяется 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 $\frac{c}{a} \geq 1.5$.

Т а б л и ц а 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

11.3.11 Нагельное соединение со стальными накладками и прокладками на болтах или глухих цилиндрических нагелях (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 5 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.

Стальные накладки и прокладки следует проверять на растяжение по ослабленному сечению и на смятие под нагелем в соответствии с указаниями ГОСТ Р 59623 – 2021.

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 ($N_{\text{р}} = N \cdot sin_{\alpha}$).

Силу, растягивающую деревянный элемент поперек волокон (рисунок 11.6 а)), следует учитывать следующим образом:

$$N_{\text{р}} < N^{\text{р}}_{\text{ск,н,90}}, \tag{11.10}$$

где $N_{\text{р}} = max\begin{cases} N_{\text{р,1}} \\ N_{\text{р,2}} \end{cases}$

$N_{\text{р,1}}$ и $N_{\text{р,2}}$ - сдвигающие усилия с каждой стороны от соединения;

$N^{\text{р}}_{\text{ск,н,90}}$ - расчетная несущая способность древесины раскалыванию поперек волокон под воздействием нагельного соединения, Н, которую следует вычислять по формуле

$$N^{\text{р}}_{\text{ск,н,90}} = \frac{N^{\text{н}}_{\text{ск,н,90}} \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi_{m_i}}{\gamma_m}, \tag{11.11}$$

где $N^{\text{н}}_{\text{ск,н,90}}$ - нормативная прочности материала, определенная с обеспеченностью 0,95, Н;

$m_{\text{дл}}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения (таблица 9.4);

Π_{m_i} - произведение коэффициентов условий работы по 9.9;

γ_m- коэффициент надежности по материалу (таблица 9.3).

Нормативную несущую способность древесины раскалыванию поперек волокон под воздействием нагельного соединения $N^{\text{н}}_{\text{ск,н,90}}$ следует вычислять по формуле

$$N^{\text{н}}_{\text{ск,н,90}} = 14 \cdot x \cdot w \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}, \tag{11.12}$$

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:

а) для соединений со стальными накладками с жестким креплением нагелей - 1,4;

б) для остальных нагельных соединений - 1;

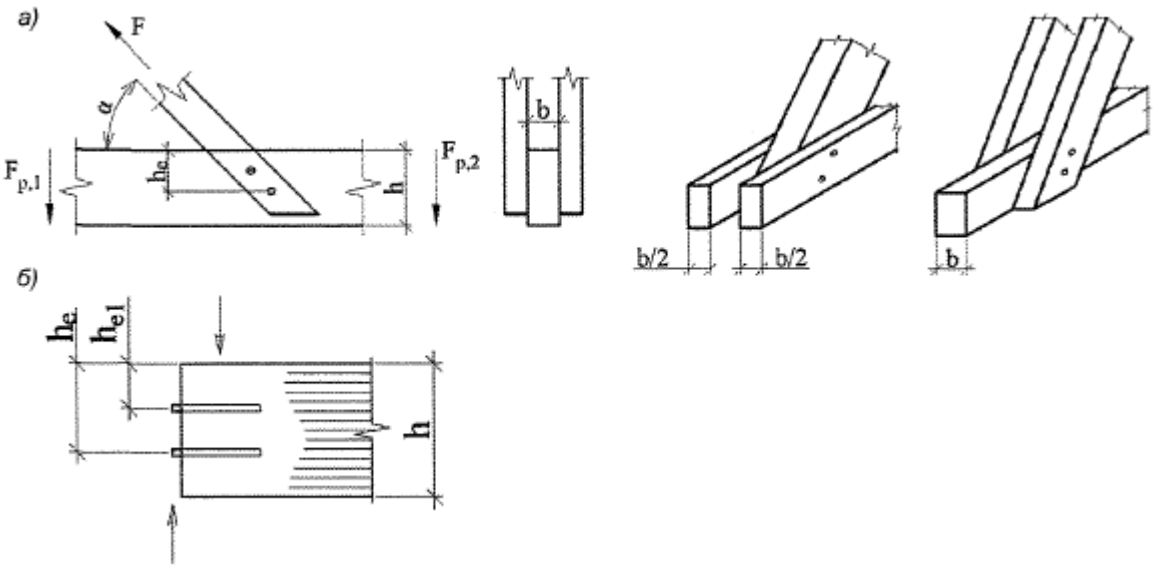
b - ширина деревянного элемента, мм;

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} [рисунок 11.6 *б*)].



а) - с направлением передаваемого нагелем усилия под углом к волокнам;

б) - торцевое

Рисунок 11.6 - Схемы нагельных соединений для расчетов на раскалывание

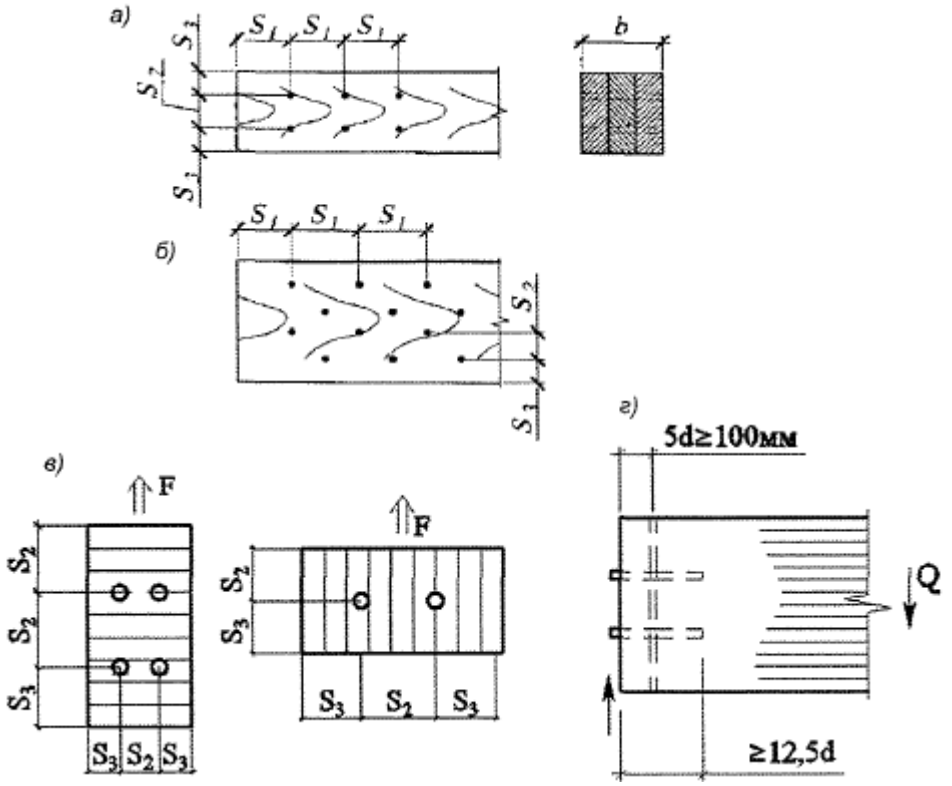
11.3.14 Расстояние между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины S_1, поперек волокон S_2 и от кромки элемента S_3 (рисунок 11.7) следует принимать не менее:

- для стальных нагелей $S_1 = 7d$; $S_2 = 3{,}5d$; $S_3 = 3d$;

При толщине пакета b менее $10d$ (рисунок 11.4) и для клееных элементов, с расположением нагелей перпендикулярно клеевым швам следует принимать:

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

11.3.15 Для стальных нагелей, установленных в торец, расстановку следует принимать по рисункам 11.7 *в)* для нагелей, установленных в торец без армирования, и 11.7 *г)* для нагелей с усилением армированием.



а) - прямая; *б)* - в шахматном порядке;

в) - установленных в торец без армирования;

г) - то же, с усилением армированием

Рисунок 11.7 - Расстановка нагелей

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 (рисунок 11.8).

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

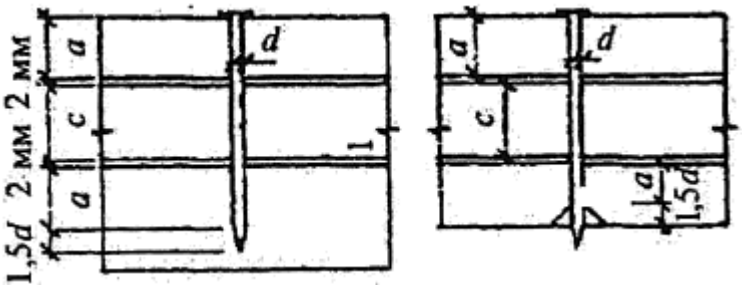


Рисунок 11.8 - Определение расчетной длины защемления конца гвоздя

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 $S_1 \geq 15d$.

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 $\alpha \leq 45°$ (рисунок 11.9) расстояние $S_2 = 3d$.

Примечания

1 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.

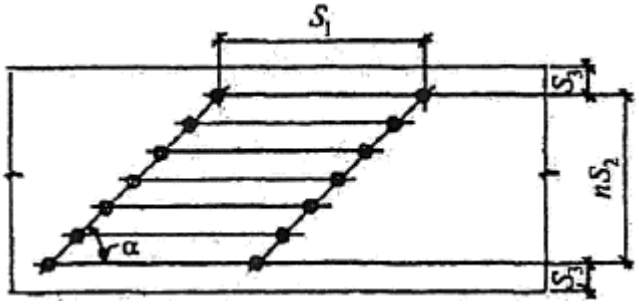


Рисунок 11.9 - Расстановка гвоздей косыми рядами

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 принимаются 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.

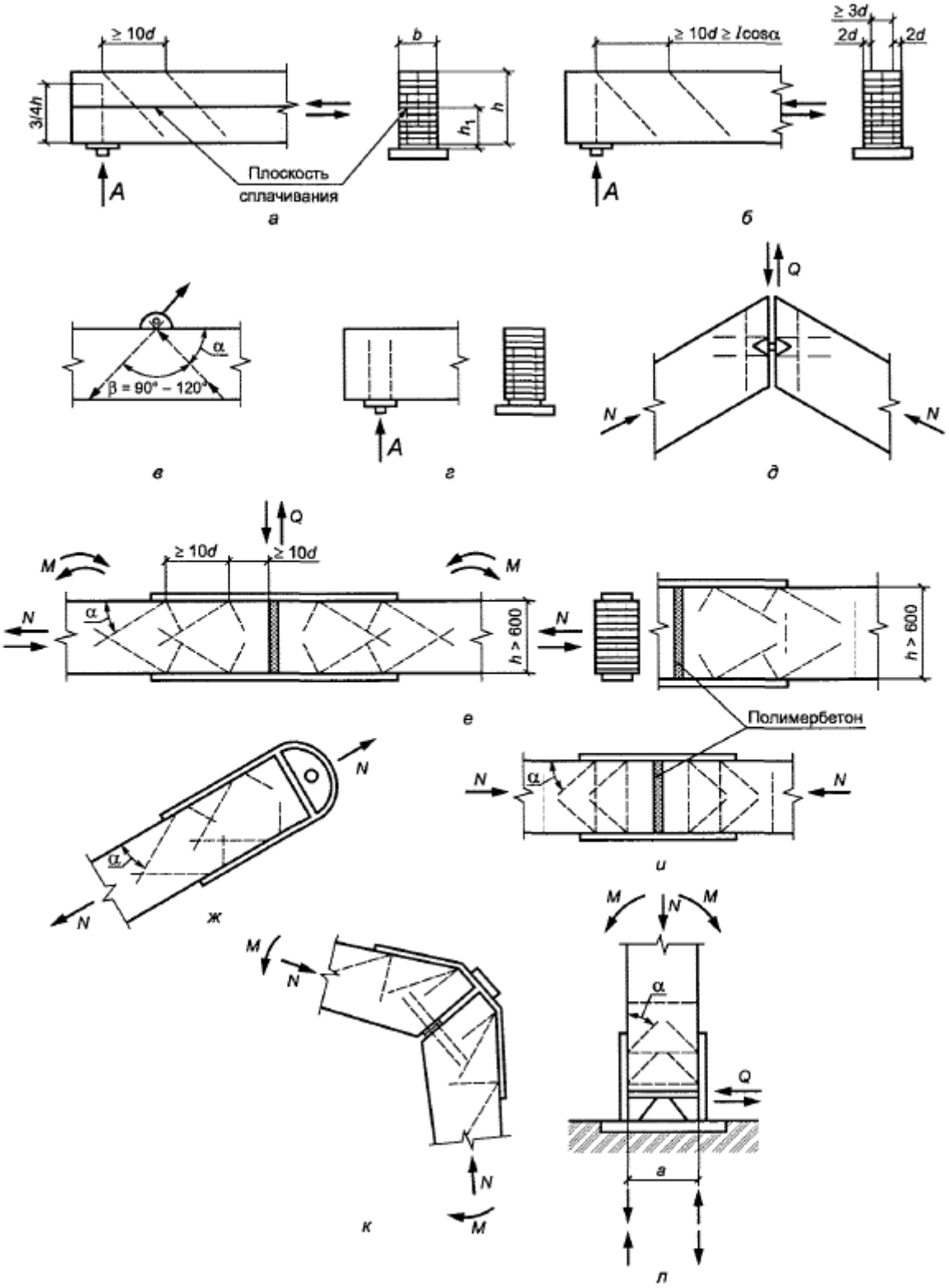
11.4.1.2 Стержни, вклеенные под углом к волокну менее чем 20°, рассматривают как вклеенные вдоль волокон, под углом 20° и более - как вклеенные под углом к волокнам. Вклеенные поперек волокон стержни являются частным случаем стержней, вклеенных под углом к волокнам.

11.4.1.3 Диаметр отверстия в древесине должен превышать диаметр вклеиваемого стержня на 4-6 мм для арматуры периодического профиля и на 2 мм для арматуры класса А240 и круглой стали.

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 по нормам проектирования ГОСТ Р 59622-2021 и ГОСТ Р 59623-2021 соответственно.



а - связи составных элементов; *б* - повышение сдвиговой прочности клееной балки; *в* - анкеровка закладных деталей; *г, д* - опорные и другие узлы конструкций; *е* - схема симметричного универсального жесткого стыка элементов сечением до 500 и свыше 600; *ж* - растянутые элементы; *и* - сжатые стыки с полимербетоном;

к - полигональные элементы, несимметричная схема (карниз рамы);

л - узел защемления стоек; *А* - опорная реакция от расчетной нагрузки

Рисунок 11.10 - Примеры соединений на наклонно вклеенных стержнях

11.4.1.7 При проектировании каркасов зданий и сооружений класса КС-3 (повышенный уровень ответственности) по ГОСТ 27751-2014 и 1-го класса функционального назначения по ГОСТ Р ПНС – 1.2.418-1.394.24. из КДК на вклеенных стержнях требуется проведение испытаний основных узлов и стыков на вклеенных стержнях 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 вклеиваются в круглые отверстия.

11.4.2.3 Расстояние от края и между осями вклеенных стержней (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

где d - диаметр вклеиваемого стержня.

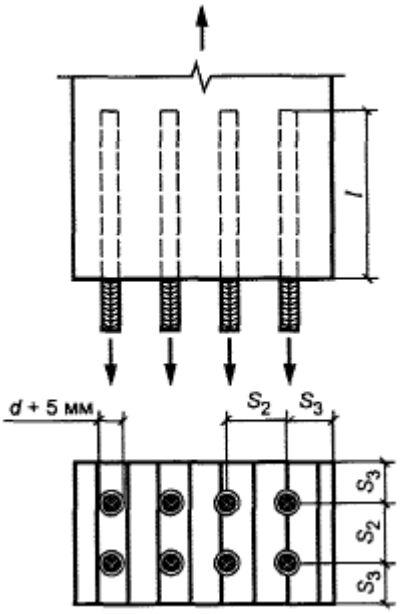


Рисунок 11.11 - Соединения на стержнях из арматуры периодического профиля, вклеенных вдоль волокон

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 следует определять по формуле

$$T = R_{\text{ск}}^{\text{А}} d_{\text{о}} \pi l_{\text{р}} k_{\text{с}} m_{\text{дл}} m_{\text{ц}} \Pi m_i, \quad (11.13)$$

где $R_{\text{ск}}^{\text{А}}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию, МПа, определяемое по пункту 5 *б*) таблицы 9.1;

$d_{\text{о}}$ - диаметр отверстия, м;

$l_{\text{р}}$ - расчетная длина стержня, м, определяемая по формуле

$$l_{\text{р}} = l - l_{\text{о}} \leq 30d, \quad (11.14)$$

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

$l_{\text{о}} = 3d$ - глубина возможного снижения прочности клеевой прослойки при сварке, для стержней без сварки $l_{\text{о}} = 0$;

k_c - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части стержня, который следует определять по формуле

$$k_c = a_c - b_c \frac{l_{\text{р}}}{d}, \quad (11.15)$$

здесь a_c=1,2;

b_c=0,02;

$m_{\text{дл}}, m_{\text{ц}}, \Pi m_i$ - в соответствии 9.1.

11.4.3 Соединения на стержнях, вклеенных под углом к волокнам

11.4.3.1 Внутренний угол между ветвями анкера принимается 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 $T_{\text{вс}\,\alpha}$, МН, вклеиваемого под углом к волокнам стержня на выдергивание или продавливание в стыках КДК следует определять по формуле

$$T_{\text{вс}\,\alpha} = R^{\text{А}}\, d_{\text{о}}\, \pi\, l_{\text{р}}\, k_{\text{с}}\, k_{\sigma} k_{d}\, m_{\text{дл}}\, m_{\text{ц}}\, \Pi m_{i} \leq F_{a} R_{a}, \qquad (11.16)$$

где $R^{\text{А}}$ - расчетное сопротивление древесины выдергиванию или продавливанию вклеенного стержня, МПа, принимаемое равным 6 МПа;

$d_{\text{о}}, l_{\text{р}}, k_{c}, m_{\text{дл}}, m_{\text{ц}}, \Pi m_{i}$ – 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} следует определять по формуле

$$k_{\sigma} = 1 - b_{\sigma}\sigma, \qquad (11.17)$$

где σ - максимальные растягивающие напряжения, МПа;

b_{σ}=0,001.

б) при работе в сжатой зоне, а также для стержней, работающих на продавливание, $k_{\sigma} = 1$.

k_{d}- коэффициент, учитывающий зависимость расчетного сопротивления от диаметра стержня

$$k_{d} = a_{d} - b_{d} d, \qquad (11.18)$$

где $a_{d} = 1{,}12$;

$b_{d} = 10$;

F_{a} - площадь сечения стержня, м^2;

R_{a} - расчетное сопротивление стального стержня, МПа.

11.4.3.7 Минимальное расстояние:

– от боковых граней пакета до оси стержня принимается $2d$ и не менее 30 мм;

– 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 $T'_{\text{сд}}$, приходящееся на один наклонно вклеенный стержень, следует определять по формуле

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

где $T_{\text{сд}}$ - расчетное сдвигающее усилие, кН;

$n_{\text{вс}}$- количество вклеенных стержней;

$k_{\text{с.р}}$ - коэффициент совместной работы по 11.4.4.3

11.4.4.2 В соединении, работающем на сдвиг, при напряжении растяжения пластины (направления усилия сдвига $T_{\text{сд}}$), с наклонно вклеенными стержнями, работающий 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 $N_{\text{р}}$ должно удовлетворять условию по формуле $N_{\text{р}} = \frac{T'_{\text{сд}}}{cos_{\alpha}} \leq T_{\text{вс}\,\alpha}$,

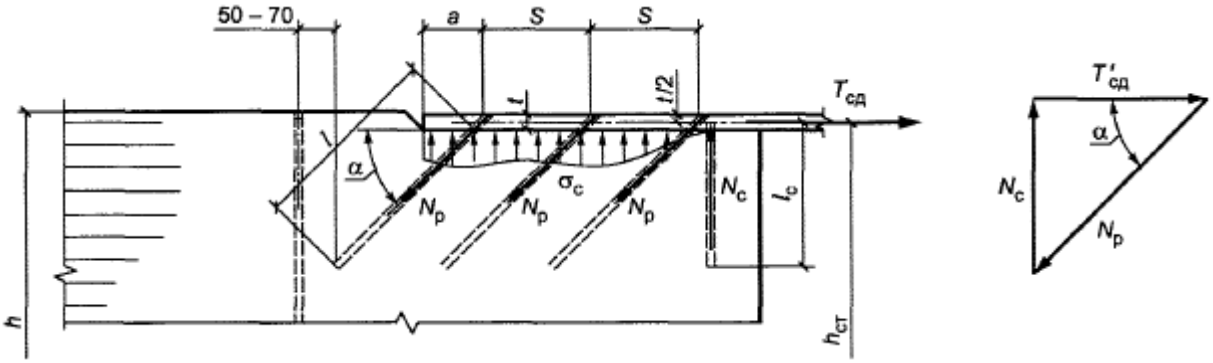
(11.20)

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

α - угол наклона вклеенной связи к плоскости сдвига.

Усилие прижима $N_{\text{с}}$, соответствующее одному наклонно вклеенному стержню, вызывающее смятие под пластиной $\sigma_{\text{см}}$ и сжатие в поперечно вклеенном стержне, следует определять по формуле

$$N_{\text{с}} = T'_{\text{сд}} \cdot tg_{\alpha}, \qquad (11.21)$$



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; σ_c- 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 Расчетная несущая способность вклеенного в древесину нагеля из стальной арматуры периодического профиля (рисунок 11.13) на сдвиг T, кН, на один шов соединения элементов определяется из условия

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

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

$T_{и}$ - несущая способность нагеля в расчете на изгиб, определяемого по

11.4.5.3;

$T_{\text{ит}}$ - несущая способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце определяемого по 11.4.5.4.

11.4.5.2 Несущая способность на смятие древесины под вклеенным стальным нагелем, $T_{\text{см}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{см}} = T_{\text{см,н}} \cdot k_{\alpha} \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i, \tag{11.23}$$

где $T_{\text{см,н}}$ - 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, $k_{\alpha} = 1$);

$m_{\text{дл}}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения (таблица 9.4);

Π_{m_i} - произведение коэффициентов условий работы по 9.9 а), 9.9 б), 9.9 д).

11.4.5.3 Несущая способность вклеенного стального нагеля на изгиб (условный срез), $T_{\text{и}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{и}} = T_{\text{и,н}} \cdot \sqrt{k_{\alpha} \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i} \cdot m_{\text{и}}, \tag{11.24}$$

где $T_{\text{и,н}}$ – 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 следует принимать равным большему из углов смятия нагелем элементов, прилегающих к рассматриваемому шву (кроме нагеля, работающего в торце);

$m_{\text{дл}}, \Pi m_i$ – по 11.4.5.2;

$m_{\text{и}}$ – коэффициент по 11.3.9.

11.4.5.4 Несущая способность нагеля в расчете на изгиб при расположении нагеля в торце, $T_{\text{ит}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{ит}} = T_{\text{и,н}} \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{k_{\alpha} \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i} \cdot m_{\text{и}}, \tag{11.25}$$

где $T_{\text{и,н}}$ – по 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;

$m_{\text{дл}}$ и Πm_i– по 11.4.5.2;

$m_{\text{и}}$ – 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

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

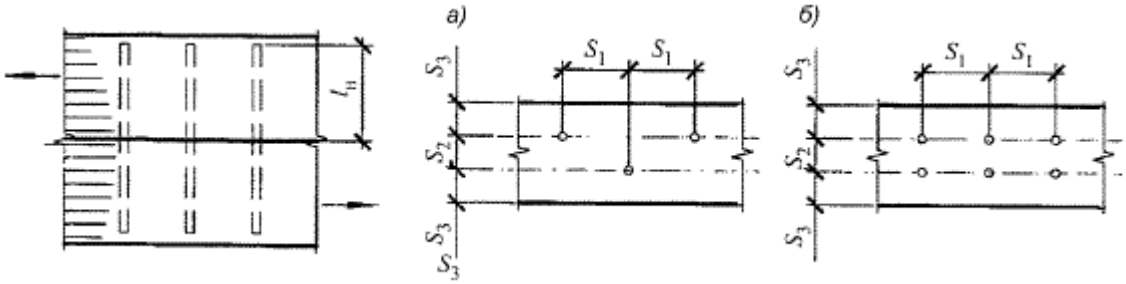
где N - расчетное усилие;

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 (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 номинальный диаметр стержня d и глубина заделки l, см.



а) - шахматная расстановка; *б)* - двухрядная расстановка

Рисунок 11.13 - Соединение на вклеенных стальных нагелях

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

вдоль волокон древесины $S_1 \geq 8d_о$;

поперек волокон и при шахматной расстановке $S_2 \geq 3d_о$; $S_3 \geq 3d_о$.

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 производят согласно 11.3.13.

Т а б л и ц а 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	$0{,}75cd_{\text{о}}$
	б) Смятие в крайних элементах	$1{,}2ad_{\text{о}}$
2 Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0{,}53cd_{\text{о}}$
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0{,}5c$	$0{,}38cd_{\text{о}}$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0{,}35c$	$0{,}8ad_{\text{о}}$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0{,}35c$	$1{,}5k_{\text{н}}ad_{\text{о}}$
3 Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб нагеля из арматуры А300	$2{,}5d^2$+$0{,}025l_{\text{н}}^2$, но не более $3{,}9d^2$
	б) Изгиб нагеля из арматуры А400	$3{,}1d^2$+$0{,}025l_{\text{н}}^2$, но не более $4{,}5d^2$

П р и м е ч а н и я

1 В таблице приведены следующие обозначения:

– c - толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений;

– a - толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений;

– d - номинальный диаметр вклеенного нагеля;

– $d_{\text{о}}$- диаметр отверстия.

Все размеры выражены в сантиметрах.

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

а) расчетную несущую способность нагеля из условия смятия в среднем элементе толщиной c при значениях $c > a > 0{,}5c$ следует определять интерполяцией между значениями по пункту 2 а) и 2 б) настоящей таблицы;

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;

в) 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 $k_{\text{н}}$ 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.

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.

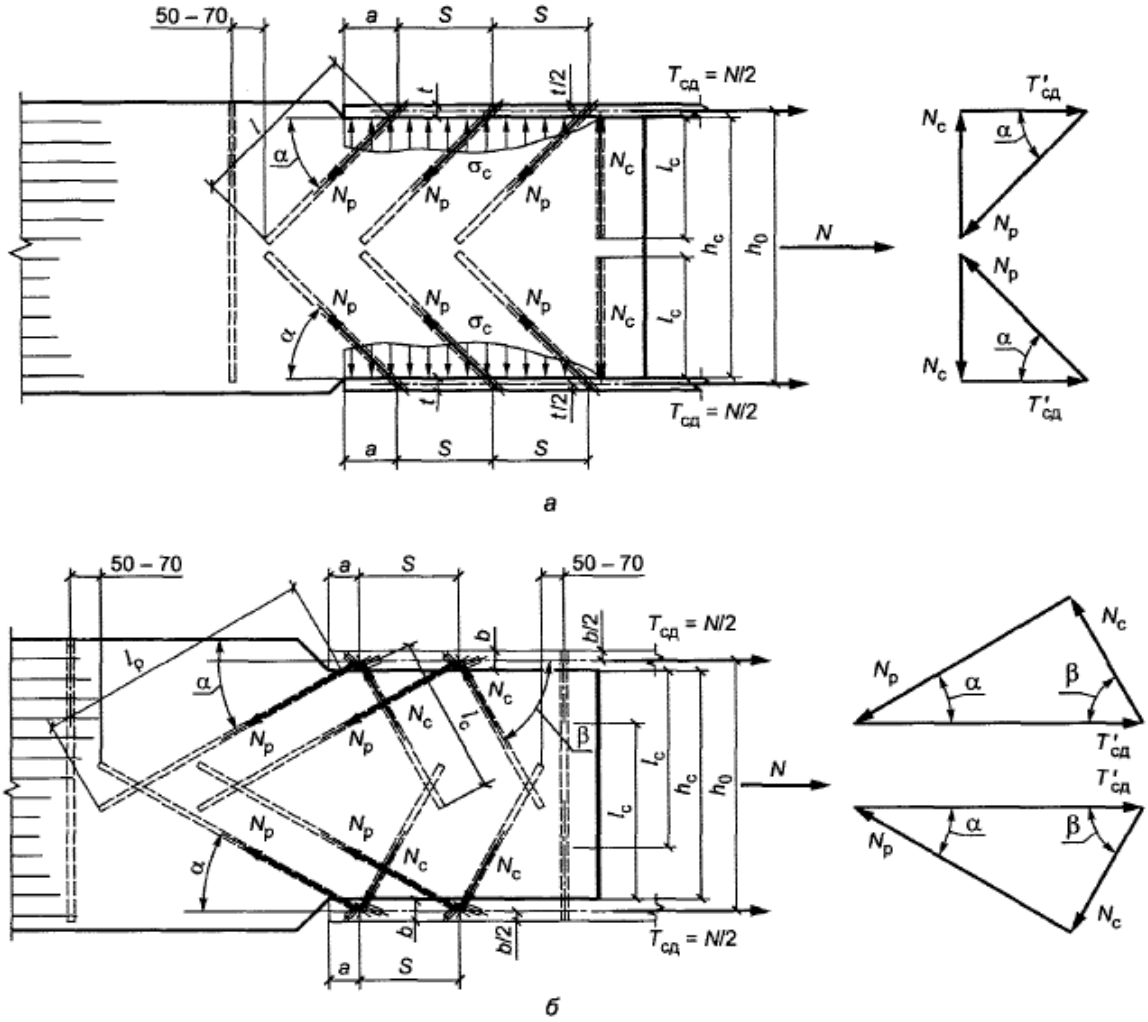
11.4.7.3 В растянутых стыках или растянутых зонах стыков допускается применять соединения на стержнях, наклонно вклеенных в одном направлении, работающих на выдергивание и присоединенных на сварке к стальным пластинам, передающим на древесину усилия сжатия, возникающие от разложения усилий растяжения 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.

11.4.7.8 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 - 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_p - длина растянутого стержня;

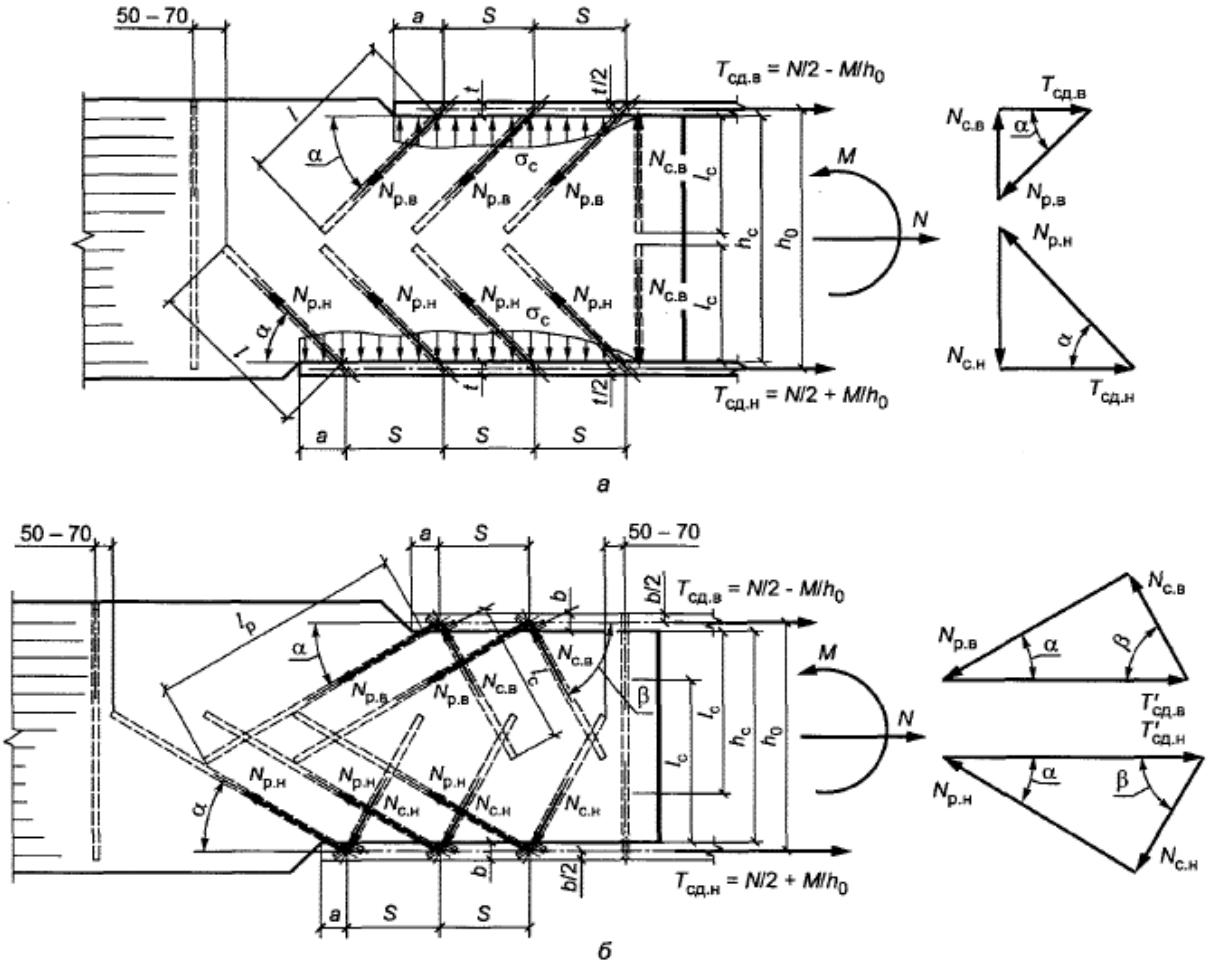
l_c - длина сжатого стержня; N - продольное усилие; N_p- усилие растяжения;

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 11.14 - Жесткие растянутые стыки с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями (*а)* и V-образными анкерами *(б*)



а - 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;

$l_с$ - длина сжатого стержня; M - изгибающий момент;

N - продольное усилие; $N_{р.в}$- верхнее усилие растяжения;

$N_{р.н}$- нижнее усилие растяжения; $N_{св}$- верхнее усилие сжатия;

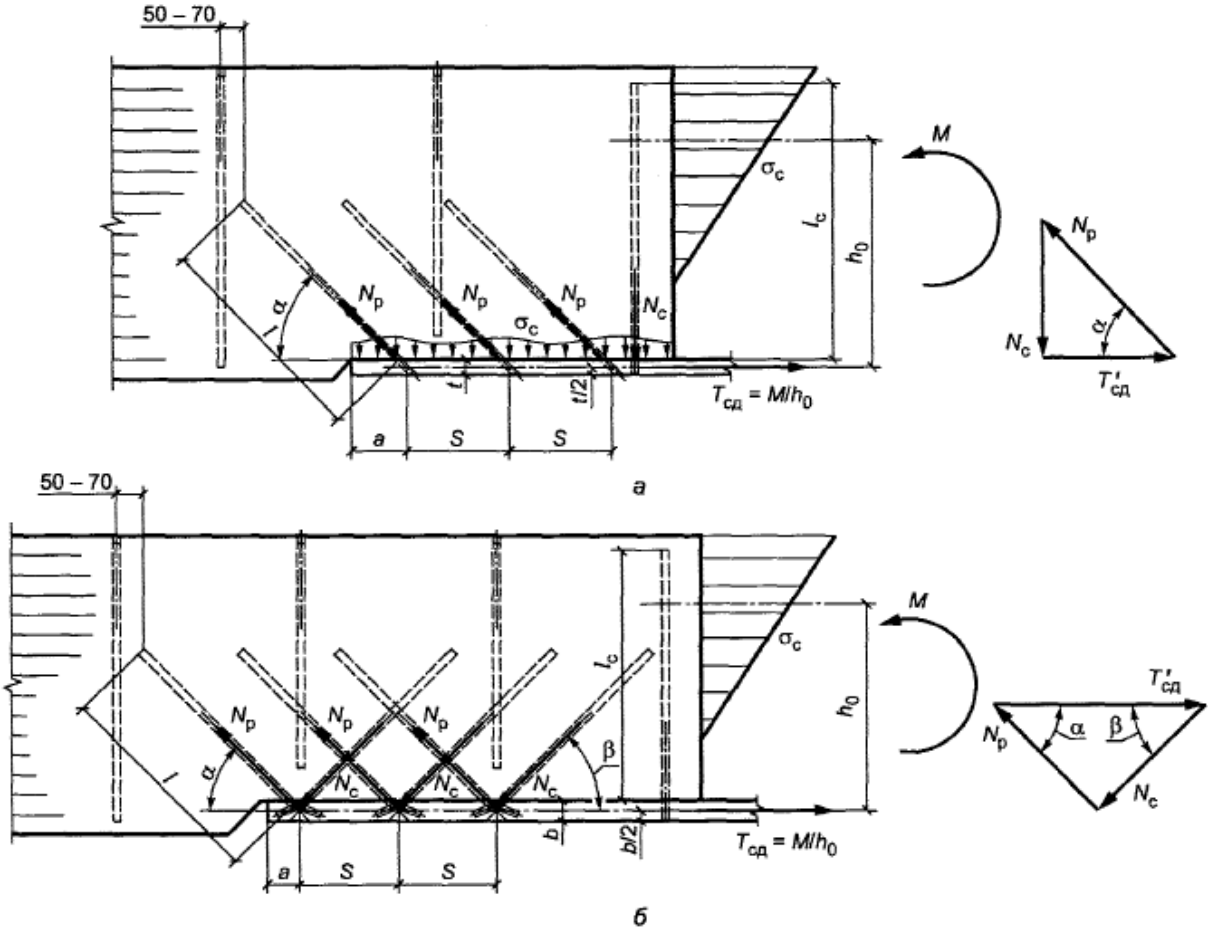
$N_{сн}$- нижнее усилие сжатия; S - шаг стержня;

$T_{сд.в}$ – 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 с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями (*а*) и V-образными анкерами (*б*)



а - расстояние от края пластины до оси стержня; b- ширина пластины;

h_0 - плечо пары сил;l - длина заделываемой части стержня;

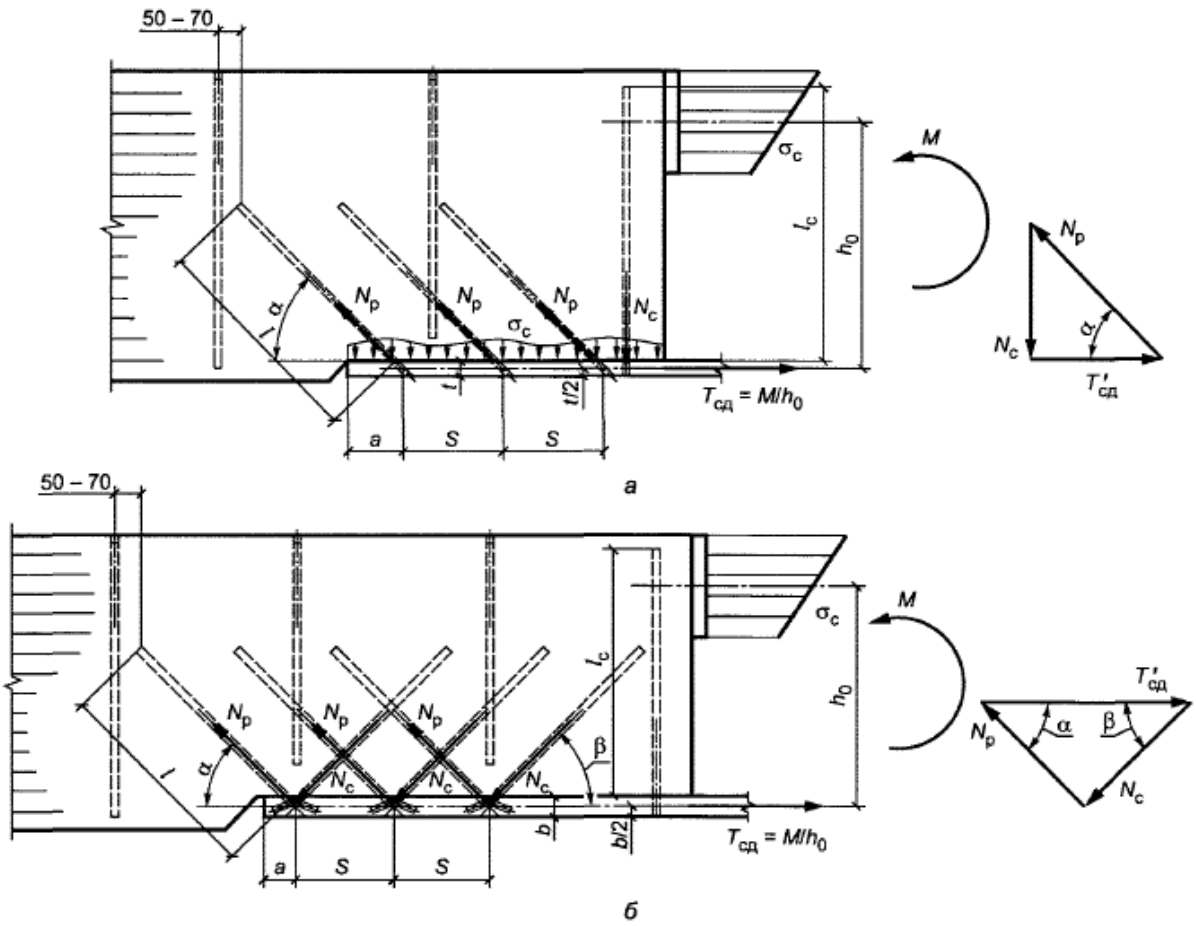
l_c - длина сжатого стержня; M - изгибающий момент;

$N_р$- 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 с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями (*а*) и V-образными анкерами (*б*)



а - расстояние от края пластины до оси стержня; b- ширина пластины;

h_0 - плечо пары сил; l - длина заделываемой части стержня;

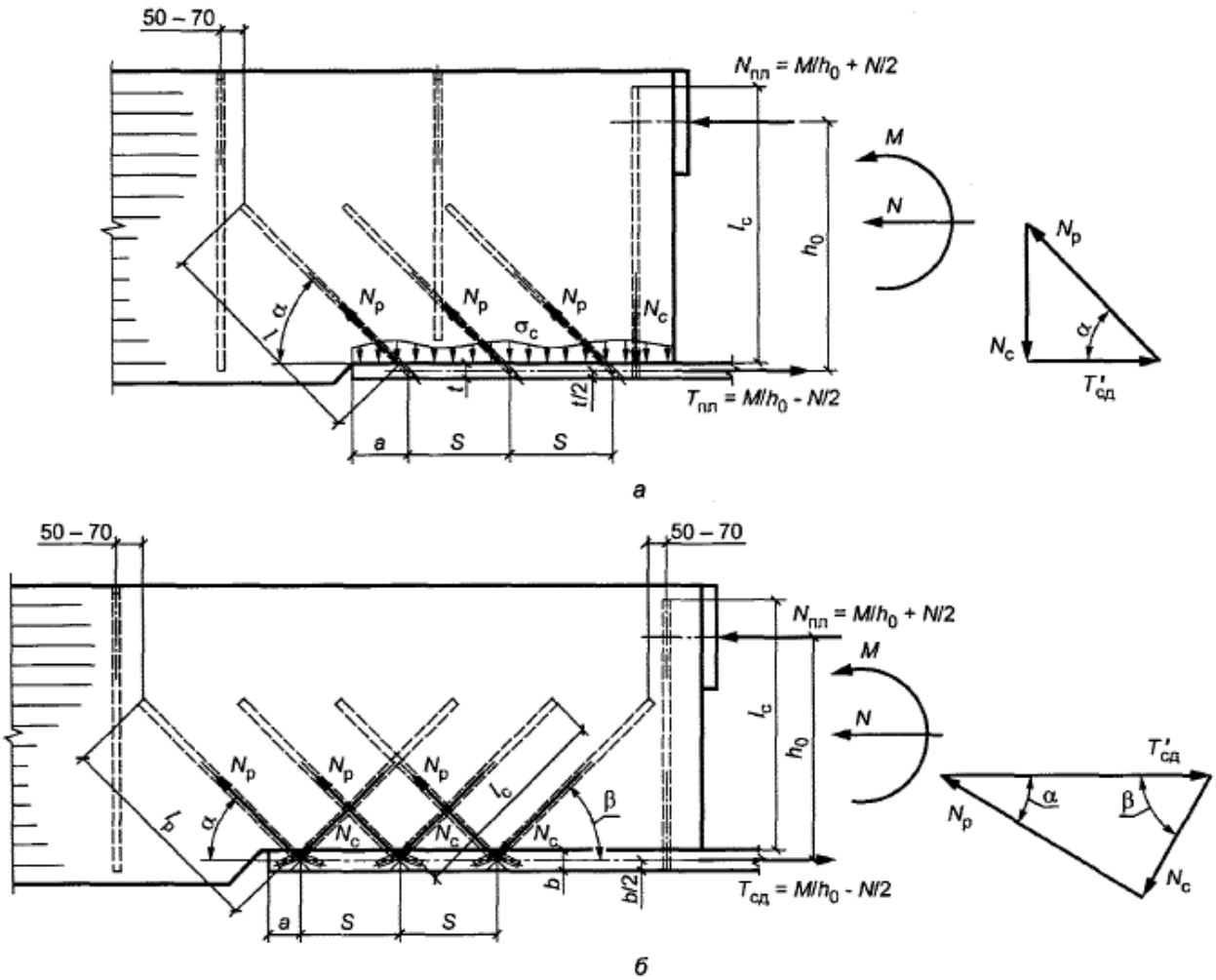
l_c - длина сжатого стержня; M - изгибающий момент; $N_р$- усилие растяжения;

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 11.17 - Жесткие изгибаемые стыки с центрирующей прокладкой в сжатой зоне с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями (*а*) и V-образными анкерами (*б*)



а - расстояние от края пластины до оси стержня; b- ширина пластины;

h_0 – п

лечо пары сил;l - длина заделываемой части стержня;

l_c - длина сжатого стержня; M - изгибающий момент; N - продольное усилие;

$N_{пл}$ - усилие на центрирующую прокладку; $N_р$- 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 11.18 - Жесткие сжато-изгибаемые стыки с центрирующей прокладкой в сжатой зоне с однонаправленными наклонно вклеенными стержнями (*а*) и V-образными анкерами (*б*)

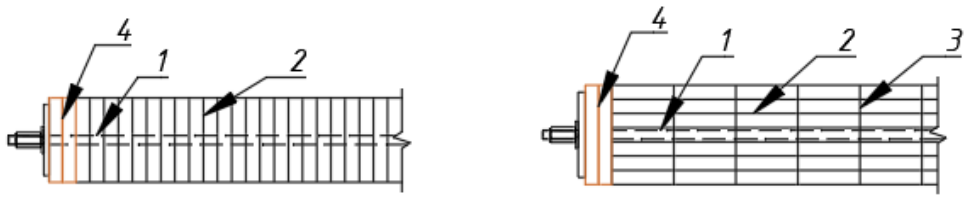
12 Плиты проезжей части

12.1 Общие указания

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 вертикальным или склеенных в блоки элементов с горизонтальным расположением слоев, удерживаемые вместе посредством предварительного натяжения стальных стержней, перпендикулярно длине плиты, пример плит показан на рисунке 12.1.

а) б)



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,

а — элемент КДК с вертикальным расположением слоев,

б — элемент КДК склеенный в блоки из элементов клееной древесины.

12.1.3 Предварительно напряженная деревоплита опирается на поперечные балки и имеет направление по длине элементов КДК вдоль направлении проезжей части.

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

12.1.5 Высота деревоплиты, должна быть менее 140мм.

При определении геометрических размеров сечения деревоплиты следует вычесть из высоты сечения h, слой перегретой от теплового воздействия литой асфальтобетонной смеси древесины толщиной 7 мм.

12.1.6 Диаметр отверстий для узла предварительного напряжения не должен превышать 20 процентов 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 предусматривать укладку литого асфальтобетона по ГОСТ Р 54401-2020 на наплавляемую рулонную гидроизоляцию по ГОСТ Р 55396-2013 с предварительной обработкой поверхности деревоплиты битумным праймером, согласно п.12.2.13.

12.2 Требования к проектированию

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

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

где a - ширина нагрузки от транспортных средств;

t - толщина покрытия;

h - расчетная высота деревоплиты

α – угол распределения нагрузки, определяется 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 $0{,}0012 \leq R_{SW} \leq 0{,}0016$, и рассчитывается по формуле

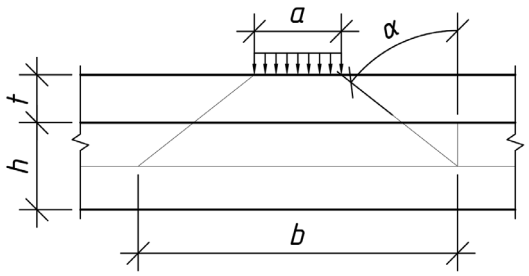
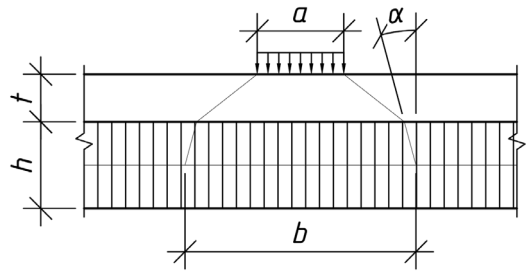
$$R_{SW} = \frac{F_{\text{ст}}}{sh}, \tag{12.2}$$

где $F_{\text{ст}}$ – расчетная площадь стального стержня;

s – расстояние между стальными стержнями;

h - расчетная высота плиты.

Т а б л и ц а 12.1

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

12.2.5 Усилие натяжения стального стержня P_{pt}, должно удовлетворять требованиям по формуле

$$P_{pt} = \sigma_{сд} \cdot s \cdot h, \tag{12.3}$$

где $\sigma_{сд}$- напряжение сжатия деревоплиты, соответствует 0,7МПа;

s и h по 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 ежегодной проверки натяжения стальных стержней во время эксплуатации.

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

12.2.9 Площадь нетто стальной плиты передающая усилие натяжения стержня на древесину определяться с учетом сопротивления древесины поперек волокон в соответствии с 9.1. Плита должна обеспечивать равномерное распределения давления и удовлетворять требованиям на прочность по изгибу.

12.2.10 Расчет на усилие сдвига $F_{сд}$, элементов плиты между собой в сопряжении поперечных стыков не склеенных между собой поверхностей, должно выполняться следующее требование по формуле

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

где $P_{сд}$ - расчетная сила сдвига, вызванная вертикальными и горизонтальными воздействиями;

$f_{тр}$ - коэффициента трения по таблице 12.1;

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

h - расчетная высота плиты;

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

Т а б л и ц а 12.1

Неровность поверхности слоя	Коэффициент трения $f_{тр}$ поперёк волокон	Коэффициент трения $f_{тр}$ вдоль волокон
Строганая древесина к строганой древесине	0,20	0,17

12.2.11 Крепление деревоплиты к опорам производить после первого предварительного напряжения деревоплиты. Существует вероятность деформации, когда деревоплита подвергается нагрузке на очень большую длину из-за непреднамеренного эксцентриситета предварительного напряжения. Ограничители при напряжении рекомендуется предусматривать, когда ширина деревоплиты перпендикулярно пластинам превышает 50-кратную высоту деревоплиты. Эти ограничения не должны препятствовать боковому перемещению настила по его ширине во время предварительного напряжения.

12.2.11 Деревоплита должна крепится к поперечным балкам на болтовом соединении воспринимающими горизонтальные нагрузки.

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:

– от края элемента деревоплиты поперек волокон должно быть 150мм;

– от края элемента деревоплиты вдоль волокон должно не менее 7d;

– между креплениями вдоль каждой балки должно быть не менее 15d.

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

Для соединений, скрепляющих деревянные элементы, используются 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 подбирать исходя из того, чтобы было минимальное количество стыков по длине пролетного строения. Стык деревоплиты по длине выполнять 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 литого асфальтового покрытия возможна только после второго этапа натяжения деревоплиты в соответствии с 12.2.6.

12.2.15 Отверстия для крепления ограждения в деревоплите размещаются на расстоянии не менее 150мм 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 попадания осадков и прямого солнечного освещения.

Мостовое полотно запрещается выполнять из:

– двойного дощатого настила, и других т.п. систем которые не могут обеспечить надежную и качественное выполнение гидроизоляции и конструктивной защиты;

– сборного железобетона

13 Защита древесины

13.1 Должны быть выполнены требования разделов 6 и 7 настоящего стандарта.

13.2 Защиту КДК, принимать по ГОСТ 20022.0-2016 и ГОСТ 20022.6-93.

13.3 Должно быть выбрано следующее:

– способ пропитки: давление-давление-вакуум (ДДВ) по ГОСТ 20022.5-93.;

– одно из перечисленных защитных средств: нафтенат меди (НМ) по ГОСТ 9549-80 или каменноугольное масло (КМ) по ГОСТ 2770-74.

13.4 Защитную обработку проводить после полной готовности элемента КДК в соответствии с проектом, (геометрические размеры, вырезы, отверстия и т.д.). Пропитка должна производиться не ранее, чем через 7 суток после изготовления элементов КДК.

13.5 Допускается принимать защиту КДК по СП 28.13330.2017, за исключением элементов КДК деревоплиты.

13.5.1 Должны быть выбраны следующие защитные средства по таблице С1, СП 28.13330.2017:

1) Боковая обработка поверхности, комбинация средств 2+5А:

– Биозащитные, позиция 2 таблицы;

– Влагозащитные, позиция 5А таблицы:

2) Торцевая обработка поверхности, комбинация средств 2+5Б:

– Биозащитные, позиция 2 таблицы. Наносится на поверхность за один раз до насыщения;

– Влагозащитные, позиция 5Б таблицы. Наносится два слоя эпоксидной шпатлевки ЭП-0010. Первый слой является грунтовочным и для него используют шпатлевку, разбавленную на 10-15% растворителем №646. Шпатлевку наносят с ориентировочным расходом 0,5 кг/м². После грунтования торцы покрывают одним слоем неразбавленной шпатлевки с расходом около 1-1,5 кг/м².

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

13.6 Работы должны производится по технологии производителя защитных средств.

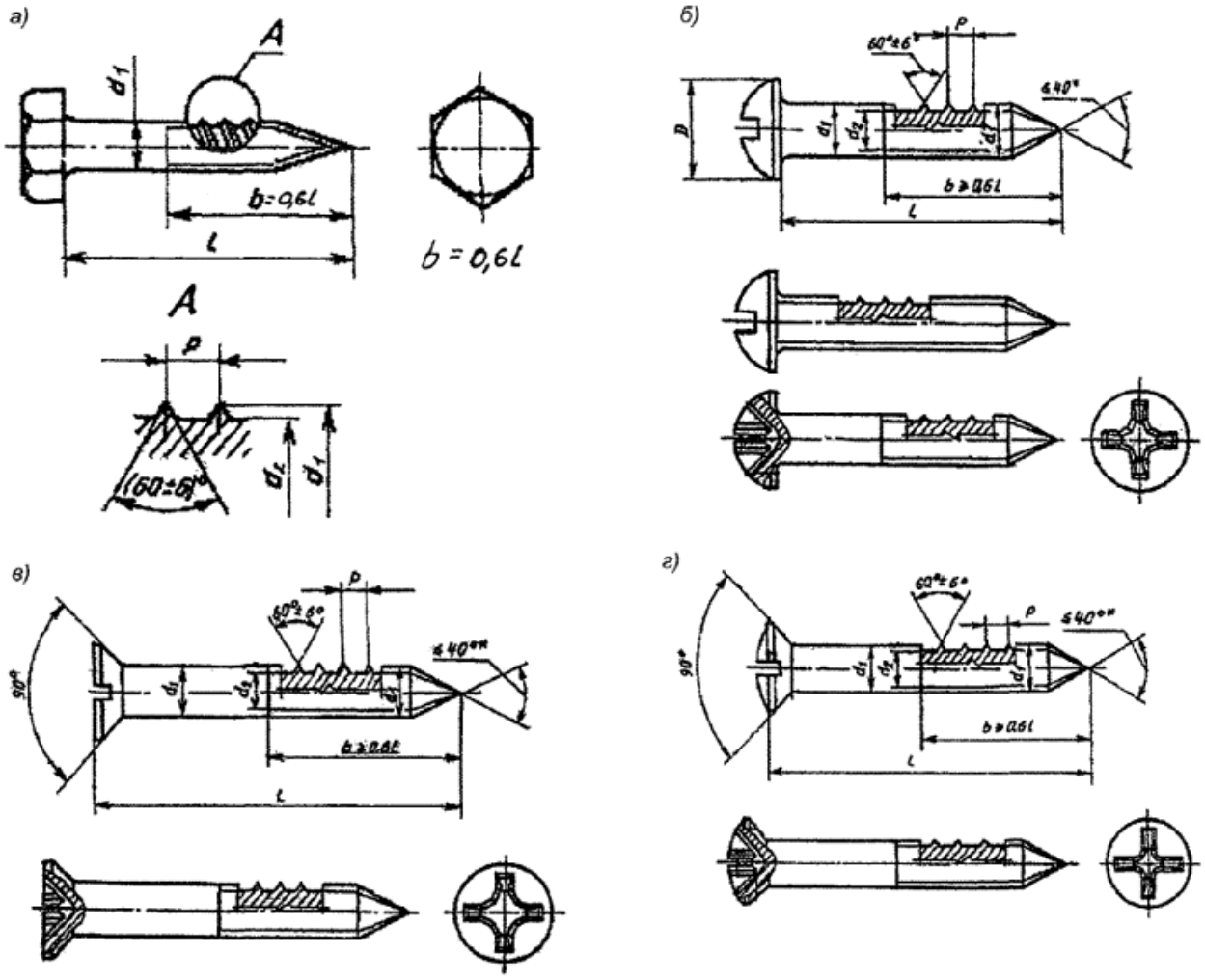
13.7 В случае нарушения защитного покрытия, покрытие должно быть восстановлено, теми же средствами.

13.8 Периодичность и методы проверки, в случае необходимости восстановления биовлагозащиты КДК должна производится по регламентам производителей и требований соответствующих нормативных документов.

Приложение А

А.1 Параметры шурупов

А.1.1 В настоящем приложении приведены конструкция и размеры шурупов, в том числе шурупов – глухарей с шестигранной головкой 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.

Т а б л и ц а А.1

Параметры шурупов	Значения в мм								
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 Требование к шурупам

А.2.1 Требования к шурупам по п. 6.1 СП 299.1325800.2017.

Библиография

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

УДК 69:009/624.011.14 ОКС 93.040

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

Руководитель организации разработчика

Общество с ограниченной ответственностью «Сооружения инженерно-транспортной инфраструктуры» (ООО «СИТИ»)

Генеральный директор 07.02.2024 Е.А. Евстигнеев

подпись, дата

Руководитель разработки 07.02.2024 Е.А. Евстигнеев

подпись, дата

Исполнители:

ГИП 07.02.2024 А.В. Насоновский

подпись, дата