

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Ограждающие конструкции покрытий из древесины и плитных материалов на ее основе

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»

*для студентов специальности 1–70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной формы обучения*

Брест 2021

УДК 624.011/.014(035)
ББК 38.54я 2
В64

Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию в области строительства и архитектуры в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» высшего образования I ступени УО. Протокол № 1 от 6 сентября 2021 г.

Рецензенты:

В. А. Лебедь, зам. директора филиала РУП «Институт БелНИИС, к. т. н.

В. В. Тур, зав. кафедрой бетона и строительных материалов, д. т. н., профессор

В64 **Ограждающие конструкции покрытий зданий из древесины и плитных материалов на ее основе / А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич; под ред. А. Я. Найчука, И. Ф. Захаркевича. – Брест: Издательство БрГТУ, 2021. – 68 с.**

ISBN 978-985-493-532-4

Настоящее пособие составлено сотрудниками кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета в соответствии с требованиями ТНПА, действующими на территории Республики Беларусь по состоянию на 01 сентября 2021 года.

Пособие предназначено для использования студентами при выполнении курсового и дипломного проекта по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс».

УДК 624.011/.014(035)
ББК 38.54я 2

ISBN 978-985-493-532-4

© Коллектив авторов, 2021
© Издательство БрГТУ, 2021

Оглавление

Введение	3
Термины и определения	6
Обозначения	8
1 Требования к содержанию, составу и оформлению курсового проекта	13
1.1 Требования к оформлению и содержанию расчетно-пояснительной записки	13
1.2 Требования к оформлению и составу графической части курсового проекта	14
2 Основные положения расчёта ограждающих и несущих деревянных конструкций	14
2.1 Определение нагрузок.....	14
2.2 Определение прочностных и упругих характеристик древесины и древесных материалов	16
3 Ограждающие конструкции покрытий	17
3.1 Конструирование и расчёт настилов	17
Пример 1. Конструирование и расчет двухслойного дощатого настила.....	20
Пример 2. Конструирование и расчет однослойного дощатого настила	24
3.2 Конструирование и расчёт обрешетки	28
Пример 3. Конструирование и расчет обрешетки.....	30
3.3 Конструирование и расчёт прогонов	37
Пример 4. Конструирование и расчет спаренного прогона.....	41
3.4 Конструирование и расчёт плит покрытий	48
Пример 5. Конструирование и расчет ребристой плиты с фанерными обшивками	50
Приложение А Параметры изделий из древесины и некоторых плитных материалов на ее основе (<i>рекомендуемое</i>)	62
Приложение Б Некоторые характеристики свойств древесины и материалов на ее основе (<i>рекомендуемое</i>).....	63
Список использованных источников	67

Введение

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» предусмотрено выполнение курсового проекта с целью закрепления у студентов теоретических знаний, полученных в процессе изучения курса; освоения технических нормативно-правовых актов (ТНПА) в области проектирования строительных сооружений, принципов их объемно-планировочной и конструктивной компоновки с использованием деревянных конструкций; приобретения необходимого практического опыта по конструированию и расчету конструкций из древесины и материалов на ее основе, а также из полимерных материалов.

Курсовой или часть дипломного проекта с применением деревянных конструкций являются самостоятельной творческой работой студента, поэтому в задании на проектирование указываются следующие исходные данные: тип ограждающей конструкции покрытия; контурные габариты элементов покрытия; район строительства; температурно-влажностный режим эксплуатации строительного сооружения; класс последствий; используемый материал. Следует отметить, что в задании могут указываться и другие требования, в которых приводятся особенности проектируемого строительного сооружения.

При работе над проектом первоначально студент должен ознакомиться с учебной литературой и ТНПА, в которых освещены вопросы механических свойств используемых материалов, защиты древесины от температурных и влажностных воздействий, возникающих в процессе эксплуатации элементов покрытия, защиты от биологических повреждений, конструирования и расчета узловых сопряжений как между элементами покрытия, так и их соединением с основными несущими конструкциями покрытия, а также определением расчетных значений нагрузок, действующих на проектируемое покрытие.

Для указанного в задании типа покрытия студент самостоятельно принимает решение о выборе его элементов, прочностных и упругих характеристик используемых материалов, вида и толщины утеплителя (для отапливаемых помещений), определении нагрузок в целом, как покрытия, так и на отдельные его элементы и др.

В настоящем пособии приведены основные правила конструирования и расчета ограждающих конструкций покрытия, которые могут быть изготовлены с использованием пиломатериалов; элементов клееной древесины и клееного шпона (LVL), фанеры, плит с ориентированным расположением стружки (ОСП), цементно-стружечных плит (ЦСП), а также комбинированных конструкций покрытия (ребристых плит с фанерными обшивками). Кроме того, приводятся правила по конструированию и расчету деревянных прогонов, соединения их с основными несущими элементами покрытия строительного сооружения, а также примеры проектирования ограждающих конструкций покрытия.

При проектировании ограждающих конструкций покрытий в строительных сооружениях из древесины и материалов на ее основе следует руководствоваться СП 5.05.01 «Деревянные конструкции» [1], СН 2.01.01 «Основы проектирования строительных конструкций» [2], СН 2.01.02 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий» [3], СН 2.01.04 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки» [4], СН 2.01.05 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [5]. При работе над проектом использование других ТНПА и пособий, изданных до 2018 г., следует рассматривать в качестве информационного материала.

Пособие состоит из введения, трех разделов, двух приложений и списка используемых источников.

В первом разделе изложены требования к содержанию, составу и оформлению курсового проекта.

Во втором разделе изложены основные положения расчёта ограждающих и несущих деревянных конструкций, касающиеся определения нагрузок, расчетных значений прочностных характеристик используемых материалов.

В третьем разделе приведены основные правила по конструированию и расчету однослойных и двуслойных настилов. Приведены примеры по выполнению проверок однослойного и двуслойного настила по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности. В данном разделе излагаются и разъясняются на конкретных примерах правила проектирования прогонов и ребристых плит покрытий с фанерными обшивками, выполнения проверок по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности.

В приложениях приведены данные по сортаменту и классам прочности пиломатериалов, классам прочности фанеры, прочностным и упругим характеристикам ОСП и ЦСП.

Термины и определения

В настоящем пособии применяются следующие термины и определения:

строительные сооружения: Все, что построено или является результатом строительных работ [2];

воздействие F: а) Совокупность сил (нагрузок), приложенных к конструкции (прямое воздействие); б) совокупность вынужденных деформаций или ускорений, вызванных, например, изменениями температуры и влажности, неравномерной осадкой опор или землетрясениями (косвенное воздействие) [2];

эффект воздействия E: Результат воздействия(-ий) на элементы конструкции (например, внутреннее усилие, момент, напряжение, деформация) или на конструкцию в целом (например, прогиб, поворот) [2];

постоянное воздействие G: Воздействие, вероятность в течение заданного базового периода времени и величина которого изменяются во времени незначительно по сравнению со средним значением или изменения которого всегда происходят в одном и том же направлении (монотонно) до достижения некоторого граничного значения [2];

переменное воздействие Q: Воздействие, для которого отклонения во времени от среднего значения значительны и не являются монотонными [2];

характеристическое значение воздействия F_k: Основное репрезентативное значение воздействия [2];

Примечание — Если характеристическое значение может быть установлено на основе статистических данных, его следует устанавливать таким образом, чтобы оно соответствовало заданной вероятности превышения с неблагоприятной точки зрения своего значения в течение базового периода с учетом проектного срока эксплуатации конструкции и продолжительности расчетной ситуации.

комбинационное значение переменного воздействия $\psi_0 Q_k$: Значение, выбранное на основе статистических данных так, что вероятность превышения эффектов от сочетания воздействий будет приблизительно такой же, как и вероятность превышения характеристического значения отдельного воздействия. Значение может быть выражено как определенная часть характеристического значения при использовании коэффициента $\psi_0 \leq 1$ [2];

частое значение переменного воздействия $\psi_1 Q_k$: Значение, установленное на основе статистических данных так, что или общее время в пределах базового периода, в течение которого оно превышает, является только малой заданной частью базового периода, или частота его превышения ограничивается заранее заданным значением. Значение может быть выражено как определенная часть характеристического значения с использованием коэффициента $\psi_1 \leq 1$ [2];

практически постоянное значение переменного воздействия $\psi_2 Q_k$: Значение, установленное таким образом, чтобы суммарный период времени, в течение которого оно будет превышено, составлял значительную часть базового периода. Значение может быть выражено как определенная часть характеристического значения с использованием коэффициента $\psi_2 \leq 1$ [2];

сопутствующее значение переменного воздействия ψQ_k : Значение переменного воздействия, которое рассматривается в одном сочетании с доминирующим воздействием.

Примечание — Сопутствующим значением переменного воздействия может быть комбинационное, частое или практически постоянное значение.

репрезентативное значение воздействия F_{rep}: Значение, принимаемое для проверки предельного состояния; может быть характеристическим F_k или сопутствующим ψF_k [2].

расчетное значение воздействия F_d: Значение, полученное в результате умножения репрезентативного значения на частный коэффициент γ_f [2];

сочетание воздействий: Совокупность расчетных значений, используемых при проверке надежности конструкции, когда в рассматриваемом предельном состоянии различные воздействия действуют одновременно [2];

характеристическое значение снеговой нагрузки: Снеговая нагрузка на грунт, определенная с годовой вероятностью превышения 0,02, за исключением чрезвычайных снеговых нагрузок [4];

характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (кровлю): Характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт, умноженное на соответствующие коэффициенты [4].

Примечание — Эти коэффициенты следует назначать таким образом, чтобы вероятность появления рассчитанной нагрузки от снега на покрытие (кровлю) не превышала вероятности появления характеристических значений снеговой нагрузки на грунте;

коэффициент формы снеговой нагрузки на покрытии: Отношение снеговой нагрузки на покрытии без заносов к снеговой нагрузке на грунте, определенное без учета влияния окружающей среды и температуры [4];

коэффициент окружающей среды: Коэффициент, определяющий уменьшение или увеличение нагрузки на покрытие неотапливаемого здания как части характеристической снеговой нагрузки на грунт [4];

температурный коэффициент: Коэффициент, определяющий уменьшение снеговой нагрузки на покрытии в зависимости от теплового потока через покрытие, вызывающего таяние снега [4];

деревянный слоистый настил: Параллельно состыкованные листы твердого слоистого материала, скрепленные гвоздями, шурупами или склеиванием.

влажесодержание: Масса воды в древесине, выраженная в отношении к массе абсолютно сухой древесины;

характеристика жесткости: Характеристика, используемая при расчете деформации конструкции (модуль упругости, модуль сдвига, модуль скольжения).

податливость: Характеристика, используемая при расчете деформации конструкции между двумя, соединенными между собой, элементами;

влажность древесины: Процентное содержание свободной воды в полостях и гигроскопической воды в порах древесины.

нагель: Цилиндрический стержень, из стали, пластмассы или древесины, плотно помещенный в предварительно просверленное отверстие или гнездо, и применяемый для передачи внутренних усилий, действующих перпендикулярно его оси.

пиломатериалы: Пилопродукция установленных размеров и качества, имеющая как минимум две плоскопараллельные пласти;

равновесная влажность: Влажесодержание, при котором древесина не приобретает и не отдает влагу в окружающую среду;

брус: Пиломатериал толщиной и шириной 100 мм и более.

доска: Пиломатериал толщиной до 100 мм и шириной не менее двойной толщины.

кромка пиломатериала: Любая из двух противоположных более узких продольных опиленных поверхностей обрезаемого пиломатериала, а также любая из обзолных продольных поверхностей необрезаемого пиломатериала;

необрезной пиломатериал: Пиломатериал с неопиленными или частично опиленными кромками, с обзолом более допустимого в обрезном пиломатериале.

номинальный размер пиломатериала: Размер пиломатериала, установленный нормативно-технической документацией при заданной влажности;

обрезной пиломатериал: Пиломатериал с кромками, опиленными перпендикулярно пластикам и с обзолом не более допустимого по соответствующей нормативно-технической документации;

Примечание — Обрезной пиломатериал может быть с параллельными и непараллельными (по сбегу) кромками;

односторонне-обрезной пиломатериал: Пиломатериал с одной кромкой, опиленной перпендикулярно пластикам, и с обзолом на этой кромке не более допустимого в обрезном пиломатериале;

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

слой: Составная часть многослойного деревянного клееного элемента, состоящая из склеенных по длине и ширине заготовок.

толщина плиты: Размер плиты, измеренный перпендикулярно ее плоскости.

Обозначения

В настоящем пособии применяются следующие обозначения:

A_d	– расчетное значение площади поперечного сечения элемента; расчетное значение особого воздействия;
$A_{e,f}$	– площадь сечения плиты, определенная с учетом различных свойств ребер и обшивок;
A_f	– площадь поперечного сечения обшивки плиты;
A_w	– площадь поперечного сечения ребер плиты;
E	– эффект воздействия; модуль упругости;
E_d	– расчетное значение эффекта воздействий; расчетное значение модуля упругости;
E_{mean}	– среднее значение модуля упругости древесины или материала на ее основе;
$E_{f,mean}$	– среднее значение модуля упругости материала обшивок плиты;
$E_{w,mean}$	– среднее значение модуля упругости материала ребер плиты;
$E_{0,05}$	– 5 %-ый квантиль модуля упругости древесины;
E_{0mean}	– среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон;
F	– воздействие, сосредоточенная сила;
$F_{ax,Ed}$	– расчетное значение усилия, действующего в соединении и вызывающего растяжение крепежных элементов;
$F_{ax,Rd}$	– расчетное значение несущей способности соединения на нагелях при их выдергивании;
F_d	– расчетное значение воздействия;
F_k	– характеристическое значение воздействия;
F_w	– ветровое воздействие (общее обозначение);
$F_{w,k}$	– характеристическое значение ветрового воздействия;
$F_{v,ef,R,d}$	– минимальное расчетное значение несущей способности для одного срез гвоздя в ряду соединения;
$F_{v,R,d}$	– расчетное значение несущей способности одного среза гвоздя;
$F_{v,R,d,min}$	– минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза гвоздя;
$F_{v,R,k,min}$	– минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза гвоздя;
G	– постоянное воздействие;
G_d	– расчетное значение постоянного воздействия;
G_k	– характеристическое значение постоянного воздействия
G_{mean}	– среднее значение модуля сдвига;
$G_{0,05}$	– 5 %-ый квантиль модуля сдвига;
I_d	– расчетное значение момента инерции поперечного сечения настила;
$I_{y,d}$	– расчетные значения моментов инерции поперечного сечения элемента относительно оси Y;
$I_{z,d}$	– расчетные значения моментов инерции поперечного сечения элемента относительно оси Z ;
I_w	– момент инерции поперечного сечения ребер относительно нейтральной оси плиты;
I_f	– момент инерции поперечного сечения обшивок относительно нейтральной оси плиты;
$M_{E,d}$	– расчетное значение изгибающего момента;
$M_{E,dI}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения I;

$M_{E,dII}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения II;
$M_{y,E,d}$	– расчетные значения изгибающего момента в сечении прогона, если изгиб происходит относительно оси y ;
$M_{R,dI}$	– расчетное значение сопротивления изгибу в нормальном сечении настила для комбинации нагружения I;
$M_{R,dII}$	– расчетное значение сопротивления изгибу в нормальном сечении настила для комбинации нагружения II;
$M_{z,E,d}$	– расчетные значения изгибающего момента в сечении прогона, если изгиб происходит относительно оси z ;
$M_{y,R,d}$	– расчетные значения сопротивлений в нормальном сечении элемента изгибу относительно оси Y ;
$M_{z,R,d}$	– расчетные значения сопротивлений в нормальном сечении элемента изгибу относительно оси Z ;
$M_{y,R,k}$	– характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя;
Q	– переменное воздействие;
Q_d	– расчетное значение переменного воздействия;
Q_k	– характеристическое значение отдельного переменного воздействия;
$Q_{k,i}$	– характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия i ;
Q_k	– характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;
R	– сопротивление; несущая способность;
R_d	– расчетное значение сопротивления; несущей способности;
S	– статический момент сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси; зазор между досками рабочего слоя настила;
$S_{e,f}$	– статический момент сечения плиты относительно верхней грани плиты;
W_d	– расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента;
$W_{y,d}$	– расчетное значение момента сопротивления сечения обрешётки относительно оси Y ;
$W_{z,d}$	– расчетное значение момента сопротивления сечения обрешётки относительно оси Z ;
$V_{E,d}$	– расчетное значение сдвигающего усилия в сечении элемента;
$V_{E,d,max}$	– максимальное расчетное значения поперечной силы;
a	– расстояние;
a_2	– расчетное значение расстояния между гвоздями по высоте поперечного сечения элемента соединения;
b	– ширина поперечного сечения элемента;
b_n	– ширина поперечного сечения плиты;
b_w	– ширина поперечного сечения ребра плиты;
b_2	– ширина досок рабочего (нижнего) слоя настила;
$b_{f,c}$	– расчетная ширина поперечного сечения верхней обшивки плиты;
$b_{f,t}$	– расчетная ширина поперечного сечения нижней обшивки плиты;
d	– диаметр гвоздя;
f_k	– характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе;
$f_{ax,k}$	– характеристическое значение сопротивления гвоздя выдергиванию из древесины, установленного перпендикулярно направлению волокон;

f_d	– расчетное значение прочности древесины или материала на ее основе;
$f_{m,dI}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения I;
$f_{m,dII}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения II;
$f_{n1,k}$	– характеристическое значение сопротивления древесины вдавливанию гвоздя плашмя в элемент соединения 1 толщиной t_1 по направлению волокон;
$f_{f,c,d}$	– расчётное значение прочности сжатию материала верхней обшивки плиты;
$f_{f,t,d}$	– расчётное значение прочности растяжению материала нижней обшивки плиты;
$f_{f,c,k}$	– характеристическое значение прочности фанеры сжатию;
$f_{f,t,k}$	– характеристическое значение прочности фанеры растяжению;
$f_{w,c,d}$	– расчётное значение прочности материала рёбер сжатию;
$f_{w,t,d}$	– расчётное значение прочности материала рёбер растяжению;
$f_{v,mean,d}$	– среднее значение напряжений сдвига в клеевых соединениях обшивок с ребрами;
$f_{f,90,d}$	– расчетное значение прочности материала обшивок плиты сдвигу (скалыванию);
$f_{f,m,k}$	– характеристическое значение прочности фанеры на изгиб поперек волокон;
$f_{f,m,d}$	– расчетное значение прочности материала обшивки при изгибе;
$g_{k,A}$	– характеристическое значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу площади конструкции;
$g_{d,A}$	– расчетное значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу площади конструкции;
$g_{d,l}$	– расчетное значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу длины конструкции;
$g_{y,d,l}$	– расчётные значения постоянных нагрузок на единицу длины элемента, определенных с учётом их комбинационных сочетаний, действующих в направлении оси Y;
$g_{z,d,l}$	– расчётные значения постоянных нагрузок на единицу длины элемента, определенных с учётом их комбинационных сочетаний, действующих в направлении оси Z;
$q_{k,A}$	– характеристическое значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади конструкции;
$q_{d,A}$	– расчетное значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади конструкции;
$q_{d,l}$	– расчетное значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу длины конструкции;
$q_{k,l}$	– характеристическое значение переменной нагрузки на единицу длины / конструкции;
$q_{y,d,l}$	– расчётные значения переменных нагрузок на единицу длины элемента, определенных с учётом их комбинационных сочетаний, действующих в направлении оси Y;
$q_{z,d,l}$	– расчётные значения переменных нагрузок на единицу длины элемента, определенных с учётом их комбинационных сочетаний, действующих в направлении оси Z;

h	– высота поперечного сечения элемента;
l_d	– расчетное значение пролета;
l_n	– расстояние от центра опоры до центра гвоздевого забоя;
k_{def}	– коэффициент ползучести материала;
k_m	– коэффициент, учитывающий перераспределение нормальных напряжений по высоте сечения элемента;
k_{mod}	– коэффициент модификации;
$k_{mod,I}$	– коэффициент модификации для комбинации нагружения I;
$k_{mod,II}$	– коэффициент модификации для комбинации нагружения II;
k_h	– коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины элемента конструкции в зависимости от высоты его поперечного сечения по отношению к стандартным размерам образцов;
$k_{h,y}$	– коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины в зависимости от отношения стандартной высоты сечения к фактической по направлению оси Y;
$k_{h,z}$	– коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины в зависимости от отношения стандартной высоты сечения к фактической по направлению оси Z;
k_{FI}	– коэффициент последствий;
n_{ef}	– расчетное число гвоздей в ряду, параллельном направлению волокон;
n_p	– количество гвоздей в ряду по направлению волокон, перекрывающих друг друга (нахлестка из двух гвоздей);
t_{pen}	– расчетная длина защемленной части гвоздя со стороны острия; минимальная длина защемления гвоздя;
t_1	– толщина элемента 1 в соединении;
t_2	– толщина элемента 2 в соединении;
$u_{c,d}$	– предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
$u_{E,d}$	– расчетное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
$u_{E,d,fin}$	– расчетное значение прогиба настила, определяемое как суммарное значение начального прогиба u_{inst} от кратковременного приложения нагрузок и прогиба u_{creep} , вызванного ползучестью древесины при длительном приложении нагрузок;
u_{inst}	– предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
u_{creep}	– значение прогиба от ползучести древесины при длительном действии нагрузок;
$u_{inst,dI}$	– величина начального полного прогиба как результат кратковременного приложения нагрузок;
$u_{creep,dI}$	– величина полного прогиба от ползучести древесины при длительном приложении нагрузок;
$u_{y,inst,g}$	– величина начального полного прогиба как результат кратковременного приложения постоянной нагрузки;
$u_{y,inst,q}$	– величина начального полного прогиба, как результат кратковременного приложения переменной нагрузки;
$u_{E,y,d}$	– расчетное значение полного прогиба от действия постоянной и переменной нагрузок в направлении оси Y;
$u_{E,z,d}$	– расчетное значение полного прогиба от действия постоянной и переменной нагрузок в направлении оси Z;

Y_1	– расстояние от нейтральной оси поперечного сечения плиты до середины толщины верхней обшивки;
Y_2	– расстояние от нейтральной оси поперечного сечения плиты до середины толщины нижней обшивки;
α	– угол приложения силы к нагелю по отношению к волокнам; угол между осью винта и направлением волокон древесины;
β	– коэффициент, учитывающий отношение характеристических значений сопротивлений материалов элементов соединения при вдавливании в них жесткого нагеля плашмя;
γ_G	– частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий погрешности модели и отклонения размеров;
γ_Q	– частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий неопределенность расчетной модели и отклонения от заданных размеров;
$\gamma_{Q,i}$	– частный коэффициент для переменного i -го воздействия;
γ_M	– частный коэффициент свойств материалов и изделий;
Y_1	– объемный вес древесины защитного слоя настила;
Y_2	– объемный вес древесины рабочего слоя настила;
δ_1	– толщина защитного (верхнего) слоя настила;
δ_2	– толщина рабочего (нижнего) слоя настила;
μ_1	– коэффициент формы снеговых нагрузок;
Ψ_0	– коэффициент, учитывающий комбинационное значение переменного воздействия;
Ψ_1	– коэффициент, учитывающий частоту повторения переменного воздействия;
Ψ_2	– коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия.

1 Требования к содержанию, составу и оформлению курсового проекта

Курсовой проект по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения представляет законченную работу, выполненную в соответствии с заданием.

В результате выполнения курсового проекта студент должен приобрести необходимый объем знаний о методах проектирования ограждающих и несущих конструкций строительных сооружений с применением древесины и материалов на ее основе. Курсовой проект должен состоять из расчетно-пояснительной записки и графической части.

1.1 Требования к оформлению и содержанию расчетно-пояснительной записки

1.1.1 Текстовая часть расчетно-пояснительной записки оформляется в соответствии с требованиями СТ ВУЗа на листах формата А4 шрифтом Arial 12 пт через одинарный интервал.

1.1.2 Таблицы следует выполнять в редакторах Word. Каждая таблица должна быть напечатана с соответствующим заголовком и нумерацией после первой ссылки на нее. Ширина таблиц не должна превышать поля страницы. Шрифт в таблице должен соответствовать шрифту расчетно-пояснительной записки.

1.1.3 Формулы должны быть выполнены в редакторе формул Equation 3.0 с использованием только общепринятых шрифтов (Arial; Symbol). Каждая формула набирается как один объект, нумерация формул арабскими цифрами в скобках по ширине страницы.

1.1.4 Рисунки (схемы) выполняют в черно-белом варианте, после первой ссылки на них должны иметь нумерацию и подписи обозначения, а при необходимости указывают оси координат. Подрисуночные подписи должны соответствовать размерам шрифта Arial 12 пт.

1.1.5 В расчетно-пояснительной записке курсового проекта должны быть разработаны и отражены следующие разделы:

- конструктивное решение покрытия и компоновка ограждающих конструкций;
- определение нагрузок и статический расчет ограждающих конструкций;
- проверка ограждающих конструкций по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности;
- предварительный подбор сечений и определение нагрузок на основную несущую конструкцию покрытия (балку, арку или раму);
- статический расчет основной несущей конструкции покрытия строительного сооружения;
- проверка элементов основной конструкции покрытия по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности;
- конструирование и расчет опорных, промежуточных (стыковочных) и коньковых узлов основной несущей конструкции покрытия;
- обеспечение устойчивости плоских деревянных конструкций и пространственной жесткости каркаса строительного сооружения;
- мероприятия по обеспечению долговечности деревянных конструкций строительного сооружения.

1.1.6 В расчетно-пояснительной записке должны быть приведены все выполняемые расчеты с необходимыми расчетными схемами и эскизами конструктивных элементов и самих конструкций, узловых сопряжений, а также список использованной литературы.

1.1.7 Используемые в вычислениях формулы должны иметь ссылки на соответствующие источники.

1.1.8 Максимальное отклонение расчетного значения сопротивления в сечении рассчитываемого элемента, значение несущей способности соединения или конструкции не должно превышать расчетное значение эффекта воздействия более чем на 15 %.

1.1.9 При выборе или формировании поперечного сечения элементов конструкций из пиломатериалов или же клееной древесины, размеры пиломатериалов принимают в соответствии с сортаментом по таблице А.1 приложения А настоящего пособия. Размеры элементов конструкций из плитных материалов на основе древесины принимают по таблицам приложения А настоящего пособия или таблицам [1].

1.2 Требования к оформлению и составу графической части курсового проекта

1.2.1 Графическую часть курсового проекта выполняют на 2-х листах формата А2, где должно быть отражено:

- чертеж основной несущей конструкции покрытия, ее опорный и коньковый узел;
- чертежи ограждающих конструкций (настилы и прогоны или ребристая плита покрытия;
- узлы сопряжений ограждающих конструкций с несущими конструкциями;
- совмещенные планы и разрезы с расположением связей, а также узлы их сопряжения;
- спецификация материалов и изделий на основную несущую конструкцию строительного сооружения;
- спецификация материалов и изделий на настилы, прогоны или плиту покрытия.

Примечание – Спецификацию на настилы и прогоны составляют на одну ячейку, т. е. на площадь покрытия ограниченную двумя продольными и двумя поперечными осями строительного сооружения.

1.2.2 Все чертежи выполняют в соответствии с требованиями ЕСКД.

2 Основные положения расчёта ограждающих и несущих деревянных конструкций

2.1 Определение нагрузок

2.1.1 При расчёте ограждающих и несущих конструкций, разрабатываемых в курсовом проекте, определяют постоянные и переменные нагрузки в соответствии с требованиями [1-6].

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

Значения удельного γ_i веса некоторых материалов приведены в таблицах Б.1-Б.5 приложения Б настоящего пособия. Для материалов, не вошедших в перечень таблицы Б.1, значения γ_i принимают из таблиц А в [3].

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

2.1.4 Расчётные значения нагрузок определяют по формулам [2]:

- для постоянных нагрузок

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k; \quad (2.1)$$

- для переменных нагрузок

$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k; \quad (2.2)$$

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

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

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

2.1.5 В соответствии с требованиями [2] и правилами [1] деревянные конструкции проверяют по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности, используя метод частных коэффициентов.

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

– для предельных состояний несущей способности

$$E_{d,USL} \leq R_d, \quad (2.3)$$

– для предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$u_{E,d} \leq u_{c,d}, \quad (2.4)$$

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

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

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

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

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

– для проверок предельных состояний несущей способности

$$E_{d,USL} = \begin{cases} k_{FI} \cdot \left(\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} \Psi_{0,1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right), & (2.5) \end{cases}$$

$$E_{d,USL} = \begin{cases} k_{FI} \cdot \left(\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right), & (2.6) \end{cases}$$

– для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$E_{d,inst,SLS} = k_{FI} \cdot \left(\sum G_{k,j} + Q_{k1} + \sum \Psi_{0i} Q_{k,i} \right), \quad (2.7)$$

$$E_{d,creep,SLS} = k_{FI} \cdot \left(\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2i} Q_{k,i} \right), \quad (2.8)$$

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

$\gamma_{G,j}$ – частный коэффициент для постоянного j -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [2];

$\gamma_{Q,i}$ – частный коэффициент для переменного i -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [2];

ψ_0 – коэффициент преобразования переменных воздействий в комбинационное значение; принимают по таблице 5.3 в [1];

ψ_{2j} – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия; принимают по таблице 5.3 в [1];

ξ – коэффициент уменьшения неблагоприятных постоянных воздействий; определяют в соответствии с требованиями [2];

$G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного j -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [3];

Q_{k1} – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия; определяют в соответствии с требованиями [4], [5], [6].

Примечания:

1 – При учете сочетаний, включающих постоянные и не менее двух переменных нагрузок, расчетные значения переменных нагрузок или соответствующих им усилий (эффектов воздействий) определяются из выражений (2.5 и 2.6), т. е. умножаются на коэффициенты сочетаний, установленные в [2].

2 – При учете основных сочетаний, включающих постоянные нагрузки и одну переменную нагрузку (длительную, среднесрочную или кратковременную), коэффициенты ψ и ξ в выражениях (2.5 и 2.6), принимают равными единице.

2.1.7 В соответствии с требованиями [2]:

– для класса последствий СС1, значение $k_{FI} = 0,9$;

– для класса последствий СС2, значение $k_{FI} = 1,0$;

– для класса последствий СС3, значение $k_{FI} = 1,1$.

2.1.8 При проверке деревянных конструкций по предельным состояниям эксплуатационной пригодности необходимо определять полный прогиб в соответствии (5.21) [1].

$$u_{E,d} = u_{fin} = u_{inst} + u_{creep} \quad , \quad (2.9)$$

где $u_{E,d}$ – расчетное значение прогиба;

u_{inst} – начальный прогиб от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания, определяемый по формуле (2.9) настоящего пособия;

u_{creep} – значение прогиба от ползучести древесины при длительном действии нагрузок для практически постоянного воздействия, определяемое по формуле (2.10) настоящего пособия;

2.1.9 Характеристические значения f_k прочности, а также среднее значение модуля E_{mean} упругости древесины или материалов на ее основе, принимают из таблиц Б.1, Б.2 и Б.3 приложения Б настоящего пособия или раздела 6 в [1].

2.2 Определение прочностных и упругих характеристик древесины и древесных материалов.

2.2.1 Расчетные значения прочности древесины и материалов на ее основе определяют по формуле (5.28) в [1].

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot k_{mod} \quad , \quad (2.10)$$

где f_d – расчетное значение прочности древесины или материала на ее основе для рассматриваемого вида напряженного состояния;

f_k – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе для рассматриваемого вида напряженного состояния; принимают из таблиц Б.1 – Б.3 приложения Б настоящего пособия или раздела 6 в [1];

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделия; принимают по таблице 5.6 в [1];

k_{mod} – коэффициент модификации (приведения), учитывающий изменение прочности древесины или материала на ее основе в зависимости от продолжительности действия нагрузки и условий эксплуатации; принимают по таблице 5.4 [1].

2.2.2 Для элементов конструкций расчетные значения прочности их материалов должны определяться с учетом правил, установленных в п. 6.3 [1]. Согласно правилам данного пункта для определенных видов напряженного состояния, расчетные значения прочности материалов в элементе конструкции рассчитываются с учетом коэффициентов k_n , и k_l , определяемых по формулам (5.33) – (5.36) в [1].

3 Ограждающие конструкции покрытий

Ограждающие конструкции покрытий строительных сооружений с использованием древесины и материалов на ее основе могут быть запроектированы в виде настилов, обрешетки (конструкции построечного изготовления), дощатых щитов и плит (конструкции заводского изготовления). По конструктивному решению ограждающие конструкции бывают как утепленные (для отапливаемых помещений), так и не утепленные (для неотапливаемых помещений).

3.1 Конструирование и расчёт настилов

3.1.1 Настилы применяются в покрытиях в качестве основания кровель. Они могут быть продольно-наклонными (расположенными перпендикулярно коньку крыши), поперечно наклонными (расположенными параллельно коньку крыши) или же перекрестными двухслойными из досок, в которых элементы слоев (доски) располагаются под углом α к продольной оси стропильной конструкции.

В зависимости от используемых материалов настилы бывают следующих типов: сплошные (из досок, ДСП, ОСП, ЦСП, листов фанеры) и разреженные.

3.1.2 Настилы вместе с прогонами являются несущими конструкциями кровли. Соединение настилов с прогонами или стропильными конструкциями осуществляют с использованием механических связей (гвоздей, винтов, скоб).

Сплошные настилы применяются в качестве основания под кровли из рулонных или мастичных материалов.

3.1.3 Для отапливаемых зданий с утепленными кровлями применяют однослойные настилы из досок шириной 100÷150 мм или плитных материалов на основе древесины. Доски сплошных настилов соединяются по ширине впритык или в четверть. Толщину досок определяют расчётом.

В двухслойных дощатых настилах для неутепленных кровель верхний защитный слой выполняют из досок толщиной 16÷22 мм и шириной 100÷125 мм, который укладывают под углом $\alpha = 30^\circ \div 45^\circ$ в плоскости настила к продольному направлению нижнего слоя.

Нижний рабочий слой настила выполняют из досок толщиной 19÷32 мм (по расчёту) и шириной 100÷150 мм, которые для лучшего проветривания укладываются с зазором по ширине 20÷150 мм. Оба слоя соединяются гвоздями между собой и со стропильными конструкциям или прогонами.

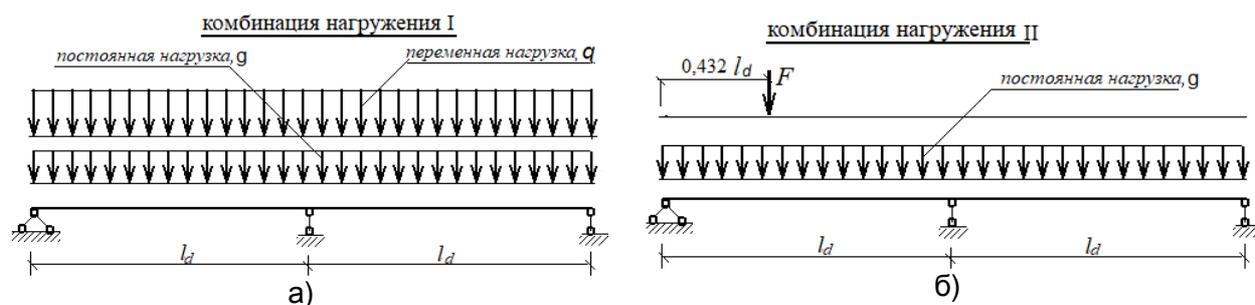
3.1.4 Пролёт дощатых настилов не должен превышать 1,5 м, а толщина досок не более 32 мм. Доски должны иметь длину, достаточную для перекрытия не менее двух пролётов.

3.1.5 Однослойный настил и рабочий слой двухслойного настила рассчитываются по схеме двухпролетной неразрезной балки с пролётами l_d , равными шагу прогонов или стропильных конструкций, на которые опирается настил (рис. 3.1).

3.1.6 Проверку настилов, работающих на изгиб, выполняют по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности для следующих комбинаций нагружения:

а) постоянная g и переменная среднесрочная q нагрузка от снега, которые равномерно распределены по всему пролету (рис.3.1 а);

б) постоянная g равномерно распределенная по всему пролету и кратковременная (монтажная) сосредоточенная $F_k = 1$ кН нагрузка, приложенная в пролёте настила на расстоянии $0,432 l_d$ от опоры (рис. 3.1 б).



а) – комбинация нагрузок I (постоянная g + переменная q нагрузки);
 б) – комбинация нагрузок II (постоянная g + переменная сосредоточенная F нагрузка)
Рисунок 3.1 – Схемы нагружения настила

В двухслойном настиле сосредоточенную F нагрузку следует распределять на ширину $b_d = 500$ мм рабочего слоя (рис. 3.2 а). В однослойном сплошном настиле сосредоточенную F нагрузку распределяют на две доски, если S расстояние между их осями не более 150 мм (рис. 3.2 б), а при расстоянии S более 150 мм – на одну доску (рис. 3.2 в).

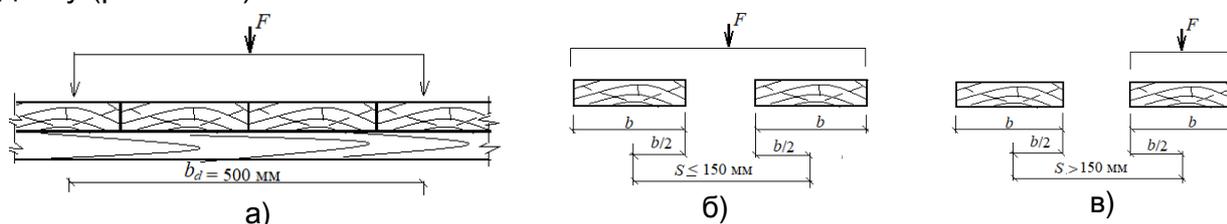


Рисунок 3.2 – Схемы распределения сосредоточенной нагрузки

3.1.7 Расчётное значение изгибающего момента для комбинации нагружения I (рис. 3.1 а) следует определять с учетом пункта 2.1.6 настоящего пособия по формуле:

$$M_{E,dl} = k_{FI} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d^2}{8}; \quad (3.1)$$

где $g_{d,l}$ – расчетное значение равномерно-распределенной постоянной нагрузки, кН/мм;

$q_{d,l}$ – расчетное значение равномерно-распределенной переменной (снеговой) нагрузки, кН/мм;

k_{FI} – коэффициент последствий, зависящий от класса последствий, значение которого принимают в соответствии с требованиями [1] или п. 2.1.7 настоящего пособия;

l_d – расчетное значение пролета, мм.

3.1.8 Расчётное значение изгибающего момента в сечениях настила для комбинации нагружения II (постоянная g + сосредоточенная F нагрузка, рис. 3.1 б) следует определять с учетом пункта 2.1.6 настоящего пособия по формуле:

$$M_{E,dII} = k_{FI} \cdot (0,07 \cdot g_{d,l} \cdot l_d^2 + 0,207 \cdot F_d \cdot l_d); \quad (3.2)$$

где F_d – расчётное значение сосредоточенной (монтажной) нагрузки, кН;

k_{FI} – коэффициент последствий, значение которого принимают в соответствии с требованиями [2] или п. 2.1.7 настоящего пособия.

3.1.9 Проверку настила по предельным состояниям несущей способности выполняют в соответствии с требованиями п. 7.3.1 [1], т. е. выполняют проверку соблюдение условий:

$$\frac{M_{E,dI}}{M_{R,dI}} \leq 1, \quad (3.3)$$

$$\frac{M_{E,dII}}{M_{R,dII}} \leq 1, \quad (3.4)$$

где $M_{E,dI}$ – расчётное значение изгибающего момента в сечении настила от внешних нагрузок для комбинации нагружения I;

$M_{E,dII}$ – расчётное значение изгибающего момента в сечении настила от внешних нагрузок при комбинации нагружения II;

$M_{R,dI}$ – расчетное значение сопротивления изгибу в нормальном сечении настила для комбинации нагрузок I;

$M_{R,dII}$ – расчетное значение сопротивления изгибу в нормальном сечении настила для комбинации нагрузок II.

3.1.10 Расчетные значения сопротивлений поперечного сечения настила изгибу определяют для каждой комбинации нагружения, используя формулы (7.22) в [1], т. е.

$$M_{R,dI} = f_{m,dI} \cdot W_d, \quad (3.5)$$

$$M_{R,dII} = f_{m,dII} \cdot W_d, \quad (3.6)$$

где $f_{m,dI}$ – расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения I, определяемое по формуле (7.24) в [1];

$f_{m,dII}$ – расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения II, определяемое по формуле (7.24) в [1];

W_d – расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения настила.

3.1.11 Проверку настила по предельным состояниям эксплуатационной пригодности (SLS) выполняют только для комбинации нагружения I (постоянная + снеговая нагрузка). Ввиду кратковременного воздействия монтажной нагрузки, для комбинации нагружения II (постоянная нагрузка + сосредоточенная нагрузка) проверку не производят.

3.1.12 При проверке настила по предельному состоянию эксплуатационной пригодности в соответствии с п. 8.1.1 [1] должно выполняться условие

$$u_{E,dI} \leq u_{C,d}, \quad (3.7)$$

где $u_{E,dI}$ – расчетное значение прогиба настила в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности, определяемое как суммарное значение начального прогиба u_{inst} от кратковременного приложения нагрузок и прогиба u_{creep} , вызванного ползучестью древесины при длительном приложении нагрузок;

$u_{C,d}$ – предельно допустимое значение прогиба, $(1/150)l_d$, где l_d – расчетная длина пролета.

3.1.13 Начальное значение u_{inst} прогиба от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания в соответствии с (5.17) [1] определяют по формуле

$$u_{inst,dI} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{FI} \cdot (g_k + q_k) \cdot l_d^2}{E_{0,mean} \cdot I_d}, \quad (3.8)$$

где $E_{0,mean}$ – среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон, принимаемое для пиломатериалов, фанеры, ДСП, ОСП и ЦСП из таблиц 6.2, 6.5, 6.8, 6.10 и 6.11 в [1] соответственно или таблиц приложения Б настоящего пособия;

I_d – расчетное значение момента инерции поперечного сечения настила.

3.1.14 Значение прогиба элемента конструкции от ползучести древесины или материалов на ее основе при длительном действии нагрузок определяют в соответствии с требованиями п. 5.4.7 в [1] по формуле

$$u_{creep} = k_{def} \cdot u_{inst,dI}, \quad (3.9)$$

где k_{def} – коэффициент ползучести, значение которого принимают по таблице 5.5 в [1];

$u_{inst,dI}$ – значение начального прогиба от практически постоянного сочетания нагрузок, определяемого по формуле (5.19) в [1] или формуле (2.8) настоящего пособия.

3.1.15 Окончательное значение прогиба настила определяют по формуле

$$u_{E,d} = u_{fin,dI} = u_{inst,dI} + u_{creep}, \quad (3.10)$$

Пример 1. Конструирование и расчет двухслойного дощатого настила

Запроектировать дощатый настил по прогонам под неутепленную рулонную малоуклонную кровлю. Класс эксплуатации здания 1, класс последствий СС2, снеговой район 2 а. Используемый материал в настиле – доски хвойных пород, класс прочности С24.

Конструктивное решение настила

Принимаем двухслойный дощатый настил, в котором верхний защитный сплошной слой выполнен из досок толщиной $\delta_1 = 19$ мм, а нижний рабочий слой – из досок сечением $\delta_2 \cdot b_2 = 22 \times 150$ мм с зазором $S = 100$ мм. Настил соединен с прогонами посредством гвоздей. Шаг прогонов $l_d = 1,5$ м (рис. П.1).

Определение характеристических и расчетных значений постоянной нагрузки

Характеристическое значение погонной нагрузки от собственного веса настила и кровли расчетной шириной $b = 1000$ мм определяют из выражения

$$g_{k,I} = g_{k1,I} + g_{k2,I} + g_{k3,I} = b \cdot \left[\delta_1 \cdot \gamma_1 + \delta_2 \cdot b_2 \cdot \left(\frac{1}{b_2 + S} \right) \cdot \gamma_2 + g_{k3} \right]$$

$$= \left[0,019 \cdot 4,2 + 0,022 \cdot 0,15 \cdot \left(\frac{1}{0,15 + 0,10} \right) \cdot 4,2 + 0,1 \right] = 0,235 \text{ кН / м} = 0,235 \text{ Н / мм},$$

здесь g_{k1} , g_{k2} и g_{k3} – характеристические значения веса защитного и рабочего слоя, а также рубероида соответственно, кН / м;

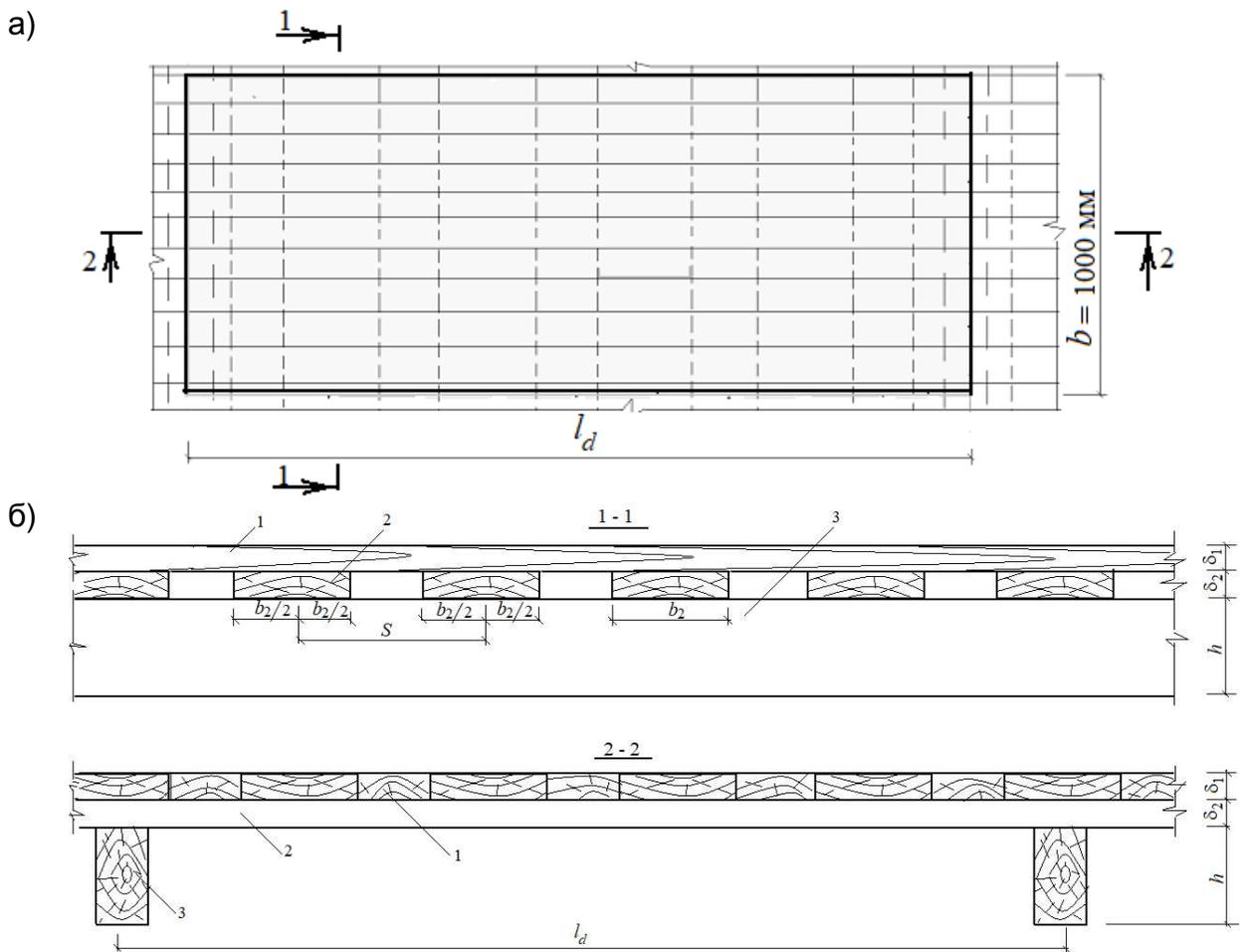
b – расчетная ширина настила, м;

δ_1 и δ_2 – толщина досок защитного и рабочего слоя настила, м;

s – зазор между досками рабочего слоя настила, м;

γ_1 – объемный вес древесины защитного слоя настила, кг/м³;

γ_2 – объемный вес древесины рабочего слоя настила, кг/м³.



1 – доски верхнего (защитного) слоя настила;
 2 – доски нижнего (рабочего) слоя настила; 3 – прогоны
 а) – план рассчитываемой части фрагмента настила;
 б) – разрезы рассчитываемой части фрагмента
Рисунок П.1 – Схема фрагмента двухслойного настила

Расчетное значение постоянной нагрузки определяют из выражения

$$g_{d,l} = g_{k,l} \cdot \gamma_G = 0,235 \cdot 1,35 = 0,317 \text{ кН / м},$$

где $\gamma_G = 1,35$ – значение частного коэффициента в случае постоянного воздействия для предельного состояния несущей способности.

Определение характеристических и расчетных значений снеговой нагрузки

В соответствии с условием задания характеристическое значение снеговой нагрузки для поверхности грунта 3-го снегового района $S_k = 1,55 \text{ кН/м}^2$.

Характеристическое и расчетное значение снеговой нагрузки на покрытие определяют в соответствии с [4] из выражений

$$q_{k,l} = b \cdot \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,55 = 1,24 \text{ кН / м} = 1,24 \text{ н / мм},$$

$$q_{d,l} = q_{k,l} \cdot \gamma_Q = 1,24 \cdot 1,5 = 1,86 \text{ кН / м} = 1,86 \text{ н / мм},$$

где $\gamma_Q = 1,50$ – значение частного коэффициента в случае переменного воздействия согласно [2].

Определение характеристических и расчетных значений сосредоточенной (монтажной) нагрузки

Характеристическое значение монтажной нагрузки $F_k = 1$ кН, а расчетное – $F_{d1} = \gamma_F \cdot F_{k1} = 1,5 \cdot 1 = 1,5$ кН.

Поскольку сосредоточенная нагрузка F в двойных настилах распределяется на ширину 0,5 м, тогда для данной расчетной ширины настила значение погонной нагрузки будет равно

$$F_{d,l} = F_{d1} / 0,5 = 1,5 / 0,5 = 3,0 \text{ кН / м} = 3,0 \text{ н / мм}.$$

Определение расчетных значений изгибающих моментов, возникающих в сечениях настила

В соответствии с п. 3.1.6 настоящего пособия определяем расчетное значение изгибающего момента для комбинации нагружения I (постоянная + снеговая нагрузка), используя выражение (3.1) настоящего пособия

$$M_{E,dI} = k_{FI} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d^2}{8} = (0,317 + 1,86) \cdot \frac{1,5^2}{8} = 0,61 \text{ кН} \cdot \text{м} = 6,1 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

В соответствии с правилами п. 3.1.8 настоящего пособия определяем расчетное значение изгибающего момента для комбинации нагружения II (постоянная g + сосредоточенная F нагрузка, рис. 3.1 б), используя выражения (3.2) и настоящего пособия

$$M_{E,dII} = k_{FI} \cdot (0,07 \cdot g_{d,l} \cdot l_d^2 + 0,207 \cdot F_d \cdot l_d) = 1 \cdot (0,07 \cdot 0,317 \cdot 1,5^2 + 0,207 \cdot 3 \cdot 1,5) = 0,981 \text{ кН} \cdot \text{м} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Проверка настила по предельному состоянию несущей способности

Определяем расчетные значения сопротивления поперечного сечения настила изгибу для соответствующих сочетаний. Поскольку в комбинации нагружения I самой малой по своей продолжительности является снеговая нагрузка, то согласно таблице 5.4 в [1] значение $k_{mod,I} = 0,8$, а для комбинации нагружения II – $k_{mod,II} = 0,9$.

Для определения расчетных значений сопротивления сечений изгибу предварительно рассчитывают значения прочности древесины досок для соответствующих комбинаций нагрузок с учетом требований пп. 5.5.3, 5.6.2 и 7.3.2 в [1]:

– для комбинации нагружения I

$$f_{m,dI} = \frac{k_{mod,I} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 24 \cdot 1 \cdot 1,3}{1,3} = 19,2 \text{ МПа} = 19,2 \text{ Н / мм}^2,$$

– для комбинации нагружения II

$$f_{m,dII} = \frac{k_{mod,II} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 24 \cdot 1 \cdot 1,3}{1,3} = 21,6 \text{ МПа} = 21,6 \text{ Н / мм}^2,$$

здесь $f_{m,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при изгибе, принимаемое из таблицы Б.1 настоящего пособия или из таблицы 6.2 [1];

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий между элементами системы и принимаемый равным 1;

k_h – коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины элемента конструкции в зависимости от высоты его поперечного сечения по отношению к стандартным размерам образца, определяемый по формуле (5.33) в [1];

γ_M – частный коэффициент свойств материала, принимаемый из таблицы 5.6 в [1].

Расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения настила при расчетной его ширине $b = 1000$ мм определяют, используя выражение

$$W_d = \frac{b}{b_2 + S} \cdot b_2 \cdot \frac{\delta_2^2}{6} = \frac{1000}{150 + 100} \cdot 150 \cdot \frac{22^2}{6} = 48,4 \cdot 10^3 \text{ мм}.$$

Тогда расчетное значение сопротивления изгибу настила

– для комбинации нагружения I

$$M_{R,dI} = f_{m,dI} \cdot W_d = 19,2 \cdot 48400 = 9,29 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

– для комбинации нагружения II

$$M_{R,dII} = f_{m,dII} \cdot W_d = 21,6 \cdot 48400 = 10,45 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Проверяем соблюдение условия $\frac{M_{E,d}}{M_{R,d}} \leq 1$ для рассмотренных комбинаций нагру-

жения:

– для комбинации нагружения I

$$\frac{M_{E,dI}}{M_{R,dI}} = \frac{6,1 \cdot 10^5}{9,29 \cdot 10^5} = 0,65 < 1 \text{ – условие выполняется};$$

– для комбинации нагружения II

$$\frac{M_{E,dII}}{M_{R,dII}} = \frac{9,81 \cdot 10^5}{10,45 \cdot 10^5} = 0,94 < 1 \text{ – условие выполняется}.$$

Следовательно, несущая способность настила обеспечена.

Проверка настила по предельному состоянию эксплуатационной пригодности

Проверку настила по предельному состоянию эксплуатационной пригодности для комбинации нагружения I выполняем в соответствии с п. 3.1.11 – п. 3.1.15 настоящего пособия.

Первоначально определяют начальное значение u_{inst} прогиба от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания, используя формулу (3.9) настоящего пособия.

$$u_{inst,dI} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{FI} \cdot (g_{k,I} + q_{k,I}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{1 \cdot (0,235 + 1,24) \cdot 150^4}{11000 \cdot 53,24 \cdot 10^4} = 1,2 + 5,84 = 7,04 \text{ мм},$$

где $E_{0,mean} = 11000$ Н/мм² – среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины класса С24, принимаемое из таблицы 6.2 [1] или таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия.

I_d – расчетное значение момента инерции сечения, определяемое из выражения

$$I_d = \frac{b}{b_2 + S} \cdot \frac{1000}{150 + 100} \cdot 150 \cdot \frac{22^3}{12} = 53,24 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Для вычисления прогиба от ползучести древесины определяем значение для практически постоянного сочетания нагрузок из выражения

$$E_{d,creep} = q_{d,l,creep} = k_{F1} \cdot (g_{k,l} + \psi_2 \cdot q_{k,l}) = 1 \cdot (0,235 + 0 \cdot 1,24) = 0,235 \text{ кН / м} = 0,235 \text{ Н / мм},$$

где $\psi_2 = 0$ для снеговой нагрузки, таблица 5.3 в СП 5.05.01.

Таким образом, значение прогиба от ползучести вызвано только действием постоянной нагрузки.

$$u_{creep,g} = u_{inst,g} \cdot k_{def} = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ мм}.$$

Значение окончательного расчётного прогиба определяют из выражения

$$u_{E,d} = u_{fin,d} = u_{inst,dl} + u_{creep,g} = 7,04 + 0,72 = 7,76 \text{ мм}.$$

Величина относительного прогиба

$$\frac{u_{E,d}}{l_d} = \frac{7,76}{1500} = \frac{1}{193} < \frac{u_{C,d}}{l_d} = \frac{1}{150}. \text{ -- условие по ограничению прогиба выполняется.}$$

Пример 2. Конструирование и расчет однослойного дощатого настила

Запроектировать однослойный дощатый настил по прогонам под утепленную рулонную малоуклонную кровлю по сегментным фермам. Класс эксплуатации здания 2, класс последствий СС3, снеговой район 2а. Высота над уровнем моря 140 м. Материал – древесина хвойных пород, класс прочности С20.

Конструктивное решение настила

Принимаем однослойный дощатый настил. Кровля рулонная по цементно-песчаной стяжке, толщиной $\delta_1 = 20$ мм, удельным весом $\gamma_1 = 18$ кН/м³. Утеплитель толщиной $\delta_2 = 120$ мм, удельным весом $\gamma_2 = 1$ кН/м³.

Для утепленной кровли предварительно принимаем сплошной одинарный настил из досок поперечным сечением 25x150 мм. Принимаем шаг прогонов равным 1,4 м.

Определение характеристических и расчетных значений постоянной нагрузки

Характеристическое значение постоянной погонной равномерно распределенной нагрузки от собственного веса настила и кровли шириной $b = 1000$ мм определяют из выражения

$$g_{k,l} = g_{k1,l} + g_{k2,l} + g_{k3,l} + g_{k4,l} = b \cdot [\delta_1 \cdot \gamma_1 + \delta_2 \cdot \gamma_2 + g_{k3} + g_{k4} + g_{k5}] = 1 \cdot [0,1 + 0,02 \cdot 18 + 0,12 \cdot 1 + 0,025 \cdot 3,9 + 0,02] = 0,697 \text{ кН / м} = 0,697 \text{ Н / мм},$$

здесь $g_{k1,l}$ – характеристическое значение от веса рулонного ковра кровли, равное 0,1 кН/м;

$g_{k2,l}$ – характеристическое значение веса цементно-песчаной стяжки, приходящегося на единицу длины рассчитываемого элемента;

$g_{k3,l}$ – характеристическое значение веса утеплителя, приходящегося на единицу длины рассчитываемого элемента;

$g_{k4,l}$ – характеристическое значение веса настила, приходящегося на единицу длины рассчитываемого элемента;

$g_{k5,l}$ – характеристическое значение веса пароизоляции, приходящегося на единицу длины рассчитываемого элемента.

Расчетное значение постоянной погонной нагрузки определяют из выражения

$$g_{d,l} = g_{k,l} \cdot \gamma_G = 0,697 \cdot 1,35 = 0,94 \text{ кН / м} = 0,94 \text{ Н / мм},$$

где $\gamma_G = 1,35$ – значение частного коэффициента в случае постоянного воздействия для предельного состояния несущей способности.

Определение характеристических и расчетных значений снеговой нагрузки

Для снегового района 2а характеристическое значение снеговой нагрузки на поверхности грунта определяют из выражения

$$S_k = 1,45 + 0,6 \cdot (A - 125) / 100 = 1,45 + 0,6 \cdot (140 - 125) / 100 = 1,54 \text{ кН / м}^2,$$

здесь $A = 140$ м – высота местности над уровнем моря.

Характеристическое и расчетное значение погонной снеговой нагрузки на покрытие определяют в соответствии с [4] из выражений

$$q_{k,l} = b \cdot \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,54 = 1,24 \text{ кН / м} = 1,24 \text{ Н / мм},$$

$$q_{d,l} = \gamma_Q \cdot q_{k,l} = 1,5 \cdot 1,24 = 1,84 \text{ кН / м} = 1,84 \text{ Н / мм},$$

где $\gamma_Q = 1,5$ – значение частного коэффициента для переменного воздействия, принятое согласно [2];

$\mu_1 = 0,8$, $C_e = 1$ и $C_t = 1$ – значения коэффициентов, принятые в соответствии с [4].

Определение характеристического и расчетного значения сосредоточенной (монтажной) F нагрузки

Характеристическое значение монтажной нагрузки $F_k = 1,0$ кН.

Расчетное значение нагрузки F определяют из выражения

$$F_d = \gamma_Q \cdot F_k = 1,5 \cdot 1 = 1,5 \text{ кН}.$$

Поскольку расстояние S между осями досок шириной 150 мм не превышает 150 мм, то в соответствии с п.3.1.6 сосредоточенная нагрузка F распределяется на две доски (рис. 3.2 б).

Поскольку сосредоточенная F нагрузка распределяется на две доски шириной 150 мм, то ширина грузовой площади составит $b = 150 \times 2 = 300$ мм. Следовательно, на ширину этой грузовой площади определяют расчетное значение погонной постоянной нагрузки, используя выражение

$$g_{d,l} = g_{d,A} \cdot b = 0,94 \cdot 0,3 = 0,282 \text{ кН / м} = 0,282 \text{ Н / мм},$$

здесь $g_{d,A} = 0,94$ кН/м – расчетное значение постоянной нагрузки, приходящейся на 1 м^2 .

Определение расчетных значений изгибающих моментов в сечениях настила

В соответствии с п. 3.1.7 настоящего пособия определяем расчетное значение изгибающего момента для комбинации нагружения I (постоянная + снеговая нагрузка), используя выражение (3.1) настоящего пособия

$$M_{E,dl} = k_{F1} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d^2}{8} = 1,1 \cdot (0,94 + 1,84) \cdot \frac{1,4^2}{8} = 0,75 \text{ кН} \cdot \text{м} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

здесь $k_{F1} = 1,1$ коэффициент для класса последствий СС3, принимаемый по СН 2.01.1.

В соответствии с п. 3.1.8 настоящего пособия определяем расчетное значение изгибающего момента для комбинации нагружения II (постоянная g + сосредоточенная F нагрузка, рис. 3.1 б), используя выражения (3.2)

$$M_{E,dll} = k_{F1} \cdot (0,07 \cdot g_{d,l} \cdot l_d^2 + 0,207 \cdot F_d \cdot l_d) =$$

$$1,1 \cdot (0,07 \cdot 0,282 \cdot 1,4^2 + 0,207 \cdot 1,5 \cdot 1,4) = 0,52 \text{ кН} \cdot \text{м} = 5,2 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

здесь $k_{F1} = 1,1$ коэффициент для класса последствий СС3, принимаемый по СН 2.01.1.

Проверка настила по предельному состоянию несущей способности

Определяем расчетные значения сопротивления поперечного сечения настила изгибу для соответствующих сочетаний. Поскольку для комбинации нагрузок I самой малой по своей продолжительности является снеговая нагрузка, то согласно таблице 5.4 в [1] значение $k_{mod,I} = 0,8$, а для комбинации нагрузок II – $k_{mod,II} = 0,9$.

Для определения расчетных значений сопротивления сечений изгибу предварительно рассчитывают значения прочности древесины досок для соответствующих комбинаций нагрузок с учетом требований пп. 5.5.3, 5.6.2 и 7.3.2 в [1]:

– для комбинации нагружения I

$$f_{m,dl} = \frac{k_{mod,I} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1,3}{1,3} = 16 \text{ Н} / \text{мм}^2;$$

– для комбинации нагружения II

$$f_{m,dll} = \frac{k_{mod,II} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1,3}{1,3} = 18 \text{ Н} / \text{мм}^2;$$

здесь $f_{m,k}$ – характеристическое значение прочности древесины для класса прочности С 20, принимаемое из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или из таблицы 6.2 [1];

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий между элементами системы и принимаемый равным 1;

k_h – коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины элемента в зависимости от высоты его поперечного сечения по отношению к стандартным размерам образца, определяемый по формуле (5.33) в [1];

γ_M – частный коэффициент свойств материала, принимаемый из таблицы 5.6 в [1].

Определяют расчетное значение момента сопротивления сечения настила при расчетной его ширине $b_1 = 1000$ мм (комбинация нагружения I), используя выражение

$$W_{dl} = \frac{b_1 \cdot \delta^2}{6} = \frac{1000 \cdot 25^2}{6} = 104166,7 \text{ мм}^3,$$

а при ширине $b_2 = 300$ мм (комбинация нагружения II)

$$W_{dll} = \frac{b_2 \cdot \delta^2}{6} = \frac{300 \cdot 25^2}{6} = 31240 \text{ мм}^3.$$

Тогда расчетное значение сопротивление изгибу настила
– для комбинации нагружения I

$$M_{R,dI} = f_{m,dI} \cdot W_{d1} = 16 \cdot 104160 = 16,66 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

– для комбинации нагружения II

$$M_{R,dII} = f_{m,dII} \cdot W_{d2} = 18 \cdot 31240 = 5,62 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Для рассмотренных комбинаций нагружения проверяем соблюдение условия

$$\frac{M_{E,d}}{M_{R,d}} \leq 1:$$

– для комбинации нагрузок I

$$\frac{M_{E,dI}}{M_{R,dI}} = \frac{7,5 \cdot 10^5}{16,66 \cdot 10^5} = 0,45 < 1 \text{ – условие выполняется};$$

– для комбинации нагрузок II

$$\frac{M_{E,dII}}{M_{R,dII}} = \frac{5,2 \cdot 10^5}{5,62 \cdot 10^5} = 0,92 < 1 \text{ – условие выполняется}.$$

Следовательно, несущая способность настила обеспечена.

Проверка настила по предельному состоянию эксплуатационной пригодности

В соответствии с п. 3.1.11 – п. 3.1.15 настоящего пособия проверку настила по предельному состоянию эксплуатационной пригодности выполняют для комбинации нагружения I.

Первоначально определяют начальное значение u_{inst} прогиба от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания, используя формулу (3.10) настоящего пособия.

$$u_{inst,I} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,I} + q_{k,I}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{1,1 \cdot (0,697 + 1,24) \cdot 140,0^4}{9500 \cdot 130,2 \cdot 10^4} = 1,29 \text{ мм} + 2,34 \text{ мм} = 3,63 \text{ мм},$$

где $E_{0,mean} = 9500 \text{ Н/мм}^2$ – среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины класса С20, принимаемое по таблице Б.1 приложения Б настоящего пособия;

I_d – расчетное значение момента инерции поперечного сечения настила, определяемое из выражения

$$I_d = \frac{b_1 \cdot \delta_3^3}{12} = \frac{1000 \cdot 25^3}{12} = 130,2083 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Для вычисления прогиба от ползучести древесины определяют значение для практически постоянного сочетания нагрузок из выражения

$$E_d = q_{creep,d} = k_{F1} \cdot (g_{k,I} + \psi_2 \cdot q_{k,I}) = 1,1 \cdot (0,697 + 0 \cdot 1,24) = 0,766 \text{ Н/мм},$$

здесь для снеговой нагрузки согласно таблице 5.3 в [1] $\psi_2 = 0$.

Таким образом, значение прогиба от ползучести вызвано только действием постоянной нагрузки и составляет

$$u_{creep,g} = u_{inst,g} \cdot k_{def} = 1,29 \cdot 0,6 = 0,77 \text{ мм}.$$

Значение окончательного расчётного прогиба определяют из выражения

$$u_{E,d} = u_{fin,g,d} = u_{inst,g,d} + u_{creep,g,d} = 3,63 + 0,77 = 4,4 \text{ мм}.$$

Величина относительного прогиба

$$\frac{u_{E,d}}{l_d} = \frac{4,4}{1400} = \frac{1}{318} < \frac{u_{C,d}}{l_d} = \frac{1}{150}. \text{ -- условие по ограничению прогиба выполняется.}$$

3.2 Конструирование и расчёт обрешетки

3.2.1 Обрешётки применяют в качестве оснований под кровлю из листовых материалов. Шаг досок или брусков обрешётки определяется видом и размерами кровельного материала. Поперечное сечение элементов обрешётки определяют расчётом. Минимальная площадь поперечного сечения элементов обрешетки не должна быть меньше 250 мм². Доски или бруски должны иметь длину, достаточную для перекрытия двух пролётов. Пролёт обрешётки принимается равным шагу стропильных конструкций, но не более 1500 мм.

3.2.2 Статический расчёт обрешётки выполняют по правилам строительной механики, как для двухпролётной неразрезной балки на две комбинации нагружения:

а) постоянная и среднесрочная нагрузка от снега (рис. 3.1 а);

б) постоянная и кратковременная сосредоточенная (монтажная) нагрузка (рис. 3.1.б), величина характеристического значения которой $F_k = 1$ кН, расположенной в пролёте обрешётки на расстоянии $0,432l_d$ от опоры.

Сосредоточенную нагрузки распределяют на один элемент обрешётки, если расстояние b между осями элементов более 150 мм, и на два элемента, если $b \leq 150$ мм (рис. 3.2).

3.2.3 Расчётные значения изгибающих $M_{E,d}$ моментов от вертикальных нагрузок для комбинации нагружения I и II определяют по формулам (3.1) и (3.2) настоящего пособия.

3.2.4 Проверку элементов обрешётки выполняют как однослойного разреженного настила по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности в соответствии с правилами подразделов 7.3 и 8.1 в [1].

Поскольку плоскость действия вертикальной нагрузки не совпадает с главными геометрическими осями сечения элементов обрешётки (рис. 3.3), их проверку выполняют как для элементов подверженных изгибу в двух плоскостях (косой изгиб) в соответствии с правилами п. 7.3.4 в [1], т. е. по формулам

$$\frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} + k_m \cdot \frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1, \quad (3.11)$$

$$k_m \cdot \frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} + \frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1, \quad (3.12)$$

где $M_{y,E,d}$ и $M_{z,E,d}$ – расчетные значения изгибающих моментов от сочетания нагрузок в сечении элемента обрешётки относительно оси Y и оси Z;

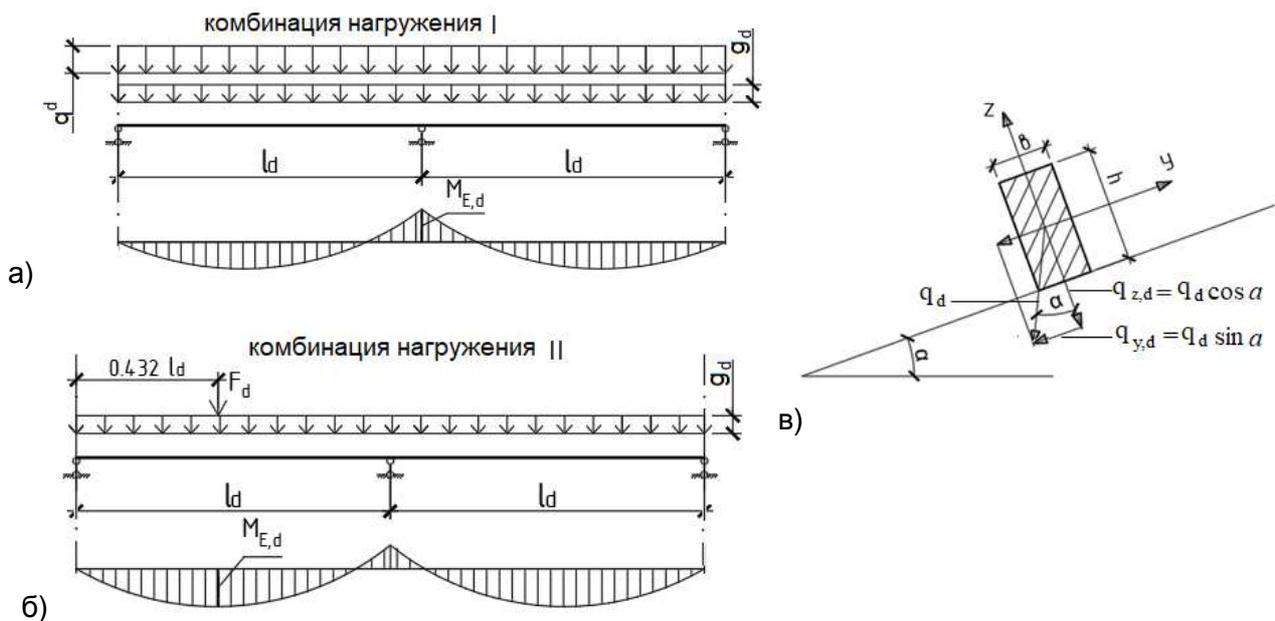
$M_{y,R,d}$ и $M_{z,R,d}$ – расчетные значения сопротивлений в нормальном сечении элемента обрешётки изгибу относительно оси Y и оси Z;

k_m – коэффициент, учитывающий перераспределение нормальных напряжений по высоте сечения элемента, для элементов прямоугольного сечения $k_m = 0,7$.

3.2.5 Расчётные значения изгибающих моментов определяют по формулам:

$$M_{y,E,d} = M_d \cdot \cos \alpha, \quad (3.13)$$

$$M_{z,E,d} = M_d \cdot \sin \alpha. \quad (3.14)$$



а) – для комбинации нагружения I;

б) – для комбинации нагружения II;

в) – косой изгиб в обрешётке.

Рисунок 3.3 – Расчётная схема настила и обрешётки

3.2.6 Проверку элементов обрешётки по предельному состоянию эксплуатационной пригодности выполняют в соответствии с п. 3.1.11 – 3.1.15 настоящего пособия, учитывая следующие особенности:

– расчётное значение прогиба элемента обрешётки в условия косою изгиба определяют по формуле (3.17);

$$u_{E,d} = u_{fin,d} = \sqrt{u_{z,fin,d}^2 + u_{y,fin,d}^2}, \quad (3.15)$$

где $u_{fin,d}$ – расчётное значение полного прогиба;

$u_{z,fin,d}$ – расчётное значение составляющей полного прогиба в плоскости, перпендикулярной скату (по оси Z);

$u_{y,fin,d}$ – расчётное значение составляющей полного прогиба в плоскости, параллельной скату (по оси Y).

3.2.7 При определении полного $u_{fin,d}$ прогиба элемента обрешётки учитывают две составляющие:

– величину начального $u_{inst,d}$ полного прогиба как результат кратковременного приложения нагрузок;

– величину $u_{creep,d}$ полного прогиба от ползучести древесины при длительном приложении нагрузок.

3.2.8 Значение начального прогиба элемента обрешётки в направлении оси Z и оси Y определяют по формулам:

$$u_{Z,inst,d} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{Fl} \cdot (g_{z,k,l} + q_{z,k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot J_{y,d}}, \quad (3.16)$$

$$u_{Y,inst,d} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{Fl} \cdot (g_{z,k,l} + q_{z,k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot J_{z,d}}, \quad (3.17)$$

где $g_{z,k,l} = g_{k,l} \cdot \cos \alpha$; $q_{z,k,l} = q_{k,l} \cdot \cos \alpha$ – характеристические значения постоянной и снеговой нагрузки, действующей в направлении оси Z;

$g_{y,k,l} = g_{k,l} \cdot \sin \alpha$, $q_{y,k,l} = q_{k,l} \cdot \sin \alpha$ – характеристические значения постоянной и снеговой нагрузки по оси Y;

$E_{0,mean}$ – среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон, принимаемое из таблицы А.1 приложения А настоящего пособия или таблицы 6.2 в [1];

$J_{y,d} = \frac{b \cdot h^3}{12}$ и $J_{z,d} = \frac{b^3 h}{12}$. – расчетные значения моментов инерции поперечного сечения элемента относительно осей Y и Z соответственно.

3.2.9 Прогиб от ползучести древесины определяют по формулам:

– для постоянной нагрузки g в направлении осей Z и Y соответственно

$$u_{Z,g,fin,d} = u_{Z,g,inst,d} \cdot (1 + k_{def}), \quad (3.18)$$

$$u_{Y,g,fin,d} = u_{Y,g,inst,d} \cdot (1 + k_{def}); \quad (3.19)$$

– для практически постоянного сочетания нагрузки q :

$$u_{Z,q,fin,d} = u_{Z,q,inst,d} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}), \quad (3.20)$$

$$u_{Y,q,fin,d} = u_{Y,q,inst,d} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}), \quad (3.21)$$

где $u_{Z,g,inst,d}$, $u_{Z,q,inst,d}$, $u_{y,g,inst,d}$ и $u_{y,q,inst,d}$ – расчетные значения начального прогиба от постоянной и снеговой нагрузки по направлению оси Z и Y соответственно;

k_{def} – коэффициент, учитывающий ползучесть материала, значение которого принимают из таблице 5.5 в [1];

ψ_2 – коэффициент, значение которого принимают из таблицы 5.3 [1].

3.2.10 Расчётные значения составляющих прогиба по направлению осей Z и Y определяют по формулам

$$u_{Z,fin,d} = u_{Z,g,fin,d} + u_{Z,q,fin,d}, \quad (3.22)$$

$$u_{Y,fin,d} = u_{y,g,fin,d} + u_{y,q,fin,d} \quad (3.23)$$

Пример 3. Конструирование и расчет обрешетки

Запроектировать и рассчитать обрешётку по наслонным стропилам, установленным с шагом 1,2 м. Угол наклона кровли из асбестоцементных волнистых листов к горизонту $\alpha = 35^\circ$. Класс эксплуатации здания 1, класс последствий СС2. Снеговой район 1а, обрешётка из пиломатериалов хвойных пород, класс прочности С22.

Конструктивное решение обрешетки

В соответствии с правилами п. 3.2.1 настоящего пособия расстояние между осями обрешётки принимаем равным 500 мм. Предварительно для обрешетки принимаем бруски сечением $b \times h = 50 \times 60$ мм. Крепление обрешетки к стропилам осуществляется с помощью гвоздей.

Определение характеристических и расчетных значений постоянной нагрузки

Характеристическое значение постоянной равномерно распределенной нагрузки от собственного веса асбестоцементных волнистых листов и собственного веса бруска обрешетки, поперечным сечением $b_1 \times h = 50 \text{ мм} \times 60 \text{ мм}$, определяют из выражения

$$g_{k,l} = g_{k1,l} + g_{k2,l} = \gamma_1 \cdot 0,15 \cdot b + \gamma_2 \cdot b_1 \cdot h = 0,15 \cdot 0,5 + 4,1 \cdot 0,05 \cdot 0,06 = 0,087 \text{ кН / м} ,$$

здесь $g_{k1,l}$ – характеристическое значение собственного веса асбестоцементных волнистых листов на 1 м длины элемента обрешетки;

$g_{k2,l}$ – характеристическое значение собственного веса элемента обрешетки сечением $b_1 \times h = 50 \text{ мм} \times 60 \text{ мм}$;

γ_{C22} – объемный вес пиломатериала класса прочности С22, принимаемый в соответствии из таблиц [1];

b_1 и h – ширина и высота поперечного сечения бруска обрешетки.

Расчетное значение постоянной нагрузки на единицу длины определяют из выражения

$$g_{d,l} = g_{k,l} \cdot \gamma_G = 0,087 \cdot 1,35 = 0,117 \text{ кН / м} .$$

где $\gamma_G = 1,35$ – значение частного коэффициента в случае постоянного воздействия для предельного состояния несущей способности.

Определение характеристических и расчетных значений снеговой нагрузки

В соответствии с условием задания характеристическое значение снеговой нагрузки для поверхности грунта снегового района 1а равно $S_k = 1,35 \text{ кН/м}^2$.

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие в соответствии с [4] определяют из выражения

$$q_{k,A} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,66 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 = 0,89 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} ,$$

где μ_1 – коэффициент формы снеговых нагрузок для скатных покрытий при угле наклона $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ в соответствии с [4] определяют из выражения

$$\mu_1 = 0,8(60 - \alpha) / 30 = 0,66 ,$$

$C_e = 1, C_t = 1$ – коэффициенты.

Расчетное значение вертикальной снеговой нагрузки на покрытие определяют из выражения

$$q_{k,A} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,66 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 = 0,89 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} .$$

Значение вертикальной погонной снеговой нагрузки на брусок обрешетки вдоль ската равно

$$q_{k,l} = q_{k,A} \cdot \cos \alpha \times b = 0,89 \cdot 0,819 \cdot 0,5 = 0,364 \frac{\text{кН}}{\text{м}} ,$$

$$q_{d,l} = g_{d,A} \cdot \cos \alpha \times b = 1,33 \cdot 0,89 \cdot 0,5 = 0,545 \frac{\text{кН}}{\text{м}} .$$

Определение расчетного значения сосредоточенной (монтажной) нагрузки

Характеристическое значение монтажной нагрузки $F_k = 1 \text{ кН}$, расчётное значение

$$F_d = F_k \cdot \gamma_F = 1,0 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ кН} .$$

где $F_k = 1,5 \text{ кН}$ – значение частного коэффициента для переменного воздействия.

Так как расстояние между осями брусков обрешётки превышает 150 мм, то в соответствии с правилами п. 3.1.3 настоящего пособия сосредоточенную нагрузку распределяют на один брусок.

Определение расчетных значений изгибающих моментов в сечениях элементов обрешетки

Расчётные значения изгибающих моментов в сечении обрешётки (рис. 3.3) определяют для двух комбинаций нагружения.

Расчетное значение момента для комбинации нагружения I (постоянная + снеговая нагрузка) в соответствии с формулой (3.1) равно

$$M_{E,dI} = 1 \cdot (0,117 + 0,545) \cdot \frac{1,2^2}{8} = 1,19 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} .$$

Расчетное значение момента для комбинации нагружения II (постоянная нагрузка и сосредоточенная нагрузка) в соответствии с формулой (3.2) равно

$$M_{E,dII} = 1 \cdot (0,117 \cdot 1,2^2 + 0,207 \cdot 1,5 \cdot 1,2) = 3,8 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} .$$

Определяют расчётные значения изгибающих моментов в плоскости перпендикулярной скату (относительно оси Y) и в плоскости параллельной скату (относительно оси Z).

Для комбинации нагружения I:

– расчетное значение момента относительно оси Y определяют из выражения

$$M_{y,E,dI} = M_{E,dI} \cdot \cos \alpha = 1,19 \cdot 10^5 \cdot 0,819 = 0,97 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} ;$$

– расчетное значение момента относительно оси Z определяют из выражения

$$M_{z,E,dI} = M_{E,dI} \cdot \sin \alpha = 1,19 \cdot 10^5 \cdot 0,5736 = 0,68 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} .$$

Для комбинации нагружения II:

– расчетное значение момента относительно оси Y определяют из выражения

$$M_{y,E,dII} = M_{E,dII} \cdot \cos \alpha = 3,8 \cdot 10^5 \cdot 0,819 = 3,11 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} ;$$

– расчетное значение момента относительно оси Z определяют из выражения

$$M_{z,E,dII} = M_{E,dII} \cdot \sin \alpha = 3,8 \cdot 10^5 \cdot 0,5736 = 2,18 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм} .$$

Проверка обрешётки по предельному состоянию несущей способности

Проверку обрешётки по предельному состоянию несущей способности выполняют по формулам (3.11) и (3.12) настоящего пособия. Предварительно определяют расчётные значения сопротивлений нормальных сечений обрешётки изгибу для каждой комбинации нагружения относительно осей Y и Z.

Расчётные значения сопротивлений нормальных сечений обрешётки изгибу относительно оси Y определяют, используя выражения:

– для комбинации нагружения I:

$$M_{y,R,dI} = f_{y,m,dI} \cdot W_{y,d} = 16,25 \times 0,3 \cdot 10^5 = 4,875 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где $f_{y,m,dI}$ – расчётное значение прочности древесины при изгибе пиломатериала класса прочности С22;

$W_{y,d}$ – расчётное значение момента сопротивления сечения обрешётки относительно оси Y определяют из выражения

$$W_{y,d} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{50 \cdot 60^2}{6} = 0,3 \cdot 10^5 \text{ мм}^3;$$

$f_{y,m,dI}$ – расчетное значение прочности древесины бруска, определяемое из выражения

$$f_{y,m,dI} = \frac{k_{\text{mod},I} \cdot k_{h,y} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 22}{1,3} = 16,25 \text{ Н} / \text{мм}^2 ,$$

здесь $k_{\text{mod},I} = 0,8$ – значение частного коэффициента модификации древесины для класса эксплуатации 1 при действии среднесрочной (снеговой) нагрузки, принимаемое из таблицы 5.6 [1];

$k_{\text{sys}} = 1,0$ – значение коэффициента, учитывающего изменение прочности материала в элементах системы;

$f_{m,k} = 22 \text{ Н/мм}^2$ – характеристическое значение прочности древесины

бруска, принимаемое из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или из таблицы 6.2 в [1];

$\gamma_M = 1,3$ – значение частного коэффициента свойств материала, принимаемое из таблицы 5.6 в [1];

$k_{h,y}$ – коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины в зависимости от отношения стандартной высоты сечения к фактической $h_y = 60 \text{ мм}$ высоте элемента, определяемый из выражения

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{150}{h_y} \right)^{0,2} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{150}{60} \right)^{0,2} \right\} = 1,2 .$$

– для комбинации нагружения II:

$$M_{y,R,dII} = f_{y,m,dII} \times W_{y,d} = 18,27 \cdot 0,3 \cdot 10^5 = 5,48 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где $f_{y,m,dII}$ – расчётное значение прочности древесины при изгибе для класса С22.

$$f_{y,m,dII} = \frac{k_{\text{mod},II} \cdot k_{h,y} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 22}{1,3} = 18,27 \text{ Н} / \text{мм}^2 ,$$

где $k_{\text{mod},II} = 0,9$ – значение частного коэффициента модификации древесины для класса эксплуатации 1 при действии кратковременной (монтажной) нагрузки, т. е. для комбинации нагружения II, принимаемое из таблицы 5.4 в [1].

Расчётные значения сопротивлений нормальных сечений обрешётки изгибу относительно оси Z определяют, используя выражения:

– для комбинации нагружения I:

$$M_{z,R,dI} = f_{z,m,dI} \cdot W_{z,d} = 16,86 \times 0,25 \cdot 10^5 = 4,215 \times 10^5 \text{ H} \cdot \text{мм},$$

где $f_{z,m,dI}$ – расчётное значение прочности древесины при изгибе пиломатериала класса прочности C22;

$W_{z,d}$ – расчётное значение момента сопротивления сечения обрешётки относительно оси Z определяют из выражения

$$W_{z,d} = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{50^2 \cdot 60}{6} = 0,25 \cdot 10^5 \text{ мм}^3;$$

$f_{z,m,dI}$ – расчётное значение прочности древесины бруска, определяемое из выражения

$$f_{z,m,dI} = \frac{k_{\text{mod},I} \cdot k_{h,z} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1,246 \cdot 1,0 \cdot 22}{1,3} = 16,86 \text{ H} / \text{мм}^2,$$

здесь $k_{\text{mod},I} = 0,8$ – значение частного коэффициента модификации древесины для класса эксплуатации 1 при действии среднесрочной (снеговой) нагрузки, принимаемое из таблицы 5.6 [1];

$k_{\text{sys}} = 1,0$ – значение коэффициента, учитывающего изменение прочности материала в элементах системы;

$f_{m,k} = 22 \text{ Н/мм}^2$ – характеристическое значение прочности древесины бруска, принимаемое из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или таблицы 6.2 в [1];

$\gamma_M = 1,3$ – значение частного коэффициента свойств материала, принимаемое из таблицы 5.6 в [1];

$k_{h,z}$ – коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины в зависимости от отношения стандартной высоты сечения к фактической $h_z = 50 \text{ мм}$ высоте элемента, определяемый из выражения

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{150}{h_z} \right)^{0,2}, 1,3 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{150}{50} \right)^{0,2}, 1,3 \right\} = 1,246.$$

– для комбинации нагружения II:

$$M_{z,R,dII} = f_{z,m,dII} \times W_{z,d} = 18,97 \cdot 0,25 \cdot 10^5 = 4,74 \cdot 10^5 \text{ H} \cdot \text{мм},$$

где $f_{z,m,dII}$ – расчётное значение прочности древесины при изгибе класса C22.

$$f_{z,m,dII} = \frac{k_{\text{mod},II} \cdot k_{h,z} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 1,246 \cdot 1,0 \cdot 22}{1,3} = 18,27 \text{ H} / \text{мм}^2,$$

где $k_{\text{mod},II} = 0,9$ – значение частного коэффициента модификации древесины для класса эксплуатации 1 при действии кратковременной (монтажной) нагрузки, т. е. для комбинации нагружения II, принимают из таблицы 5.4 в [1];

Выполняют проверку соблюдения условий, используя формулы (3.18) и (3.19) для каждой комбинации нагружения.

Для комбинации нагружения I

$$\frac{M_{y,E,dl}}{M_{y,R,dl}} + k_m \frac{M_{z,E,dl}}{M_{z,R,dl}} = \frac{0,97 \cdot 10^5}{4,875 \cdot 10^5} + 0,7 \cdot \frac{0,68 \cdot 10^5}{4,215 \cdot 10^5} = 0,313 < 1;$$

$$k_m \cdot \frac{M_{y,E,dl}}{M_{y,R,dl}} + \frac{M_{z,E,dl}}{M_{z,R,dl}} = 0,7 \cdot \frac{0,97 \cdot 10^5}{4,875 \cdot 10^5} + \frac{0,68 \cdot 10^5}{4,215 \cdot 10^5} = 0,3 < 1.$$

Для комбинации нагружения II

$$\frac{M_{y,E,dll}}{M_{y,R,dll}} + k_m \frac{M_{z,E,dll}}{M_{z,R,dll}} = \frac{3,11 \cdot 10^5}{5,48 \cdot 10^5} + 0,7 \cdot \frac{2,18 \cdot 10^5}{4,74 \cdot 10^5} = 0,888 < 1;$$

$$k_m \cdot \frac{M_{y,E,dll}}{M_{y,R,dll}} + \frac{M_{z,E,dll}}{M_{z,R,dll}} = 0,7 \cdot \frac{3,11 \cdot 10^5}{5,48 \cdot 10^5} + \frac{2,18 \cdot 10^5}{4,74 \cdot 10^5} = 0,855 < 1.$$

Следовательно, несущая способность обрешетки обеспечена.

Проверка элементов обрешетки по предельному состоянию эксплуатационной пригодности

Проверку элементов обрешетки по предельному состоянию эксплуатационной пригодности для комбинации нагружения I выполняем в соответствии с п. 3.1.15 – п. 3.1.18 настоящего пособия.

Поскольку обрешетка работает в условиях косоугольного изгиба, то расчетное значение прогиба определяют с учетом двух составляющих прогиба:

- в плоскости перпендикулярной скату (по оси z) $u_{E,z,d}$;
- в плоскости параллельной скату (по оси y) $u_{E,y,d}$.

Значение начального прогиба обрешетки по оси Z от непосредственного приложения нагрузок определяют из выражения:

$$u_{z,inst,g} + u_{z,inst,q} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{FI} \cdot (g_{z,k,l} + q_{z,k,l}) \cdot I_d^4}{E_{o,mean} \cdot I_{y,d}}$$

$$= \frac{2,13}{384} \cdot \frac{1 \cdot (0,071 + 0,298) \cdot 1200^4}{9500 \cdot 90 \cdot 10^4} = 0,095 + 0,4 = 0,495 \text{ мм},$$

где $k_{FI} = 1,0$ – для класса последствий СС2;

$g_{z,k,l} = g_{k,l} \cdot \cos \alpha = 0,087 \cdot 0,819 = 0,071 \text{ кН / м} = 0,071 \text{ Н / мм}$ – характеристическое значение постоянной нагрузки по оси Z;

$q_{z,k,l} = q_{k,l} \cdot \cos \alpha = 0,364 \cdot 0,819 = 0,298 \text{ кН / м} = 0,298 \text{ кН / мм}$ – характеристическое значение снеговой нагрузки по оси Z;

$l_d = 1,2 \text{ м}$ – пролет обрешетки;

$E_{o,mean} = 9500 \text{ Н / мм}^2$ – среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины класса прочности С22, принимают из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или 6.2 в [1];

$I_{y,d} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{50 \cdot 60^3}{12} = 90 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$ – расчетное значение момента инерции сечения обрешетки относительно оси Y.

Значение начального прогиба элемента обрешетки по оси Y от непосредственного приложения нагрузок равно:

$$u_{y,inst,g} + U_{y,inst,q} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{Fl} \cdot (g_{y,k,l} + q_{y,k,l}) \cdot l_d^4}{E_{o,mean} \cdot I_{z,d}} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{1 \cdot (0,049 + 0,208) \cdot 1200^4}{9500 \cdot 62,5 \cdot 10^4} =$$

$$= 0,095 + 0,4 = 0,495 \text{ мм},$$

где $g_{y,k,l} = g_{k,l} \cdot \sin \alpha = 0,087 \cdot 0,5736 = 0,049 \text{ кН/м} = 0,049 \text{ Н/м}$ – характеристическое значение постоянной нагрузки по оси Y;

$q_{y,k,l} = q_{k,l} \cdot \sin \alpha = 0,364 \cdot 0,5736 = 0,208 \text{ кН/м} = 0,208 \text{ Н/мм}$ – характеристическое значение снеговой нагрузки по оси Y;

$I_{z,d} = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{6 \cdot 5^3}{12} = 62,5 \text{ см}^4$ – расчетное значение момента инерции сечения обрешетки относительно оси Z.

Определяют прогиб с учетом ползучести древесины при комбинационном действии нагрузок.

Значение прогиба в направлении оси Z:

– от действия постоянной нагрузки:

$$u_{z,fin,g} = u_{z,inst,g} \cdot (1 + k_{def}) = 0,095 \cdot (1 + 0,6) = 0,152 \text{ мм};$$

– от действия снеговой нагрузки:

$$u_{z,fin,q} = u_{z,inst,q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 0,4 \text{ мм},$$

где $k_{def} = 0,6$ – коэффициент, учитывающий ползучесть древесины, принимают из таблицы 5.5 в [1];

$\psi_2 = 0$ – коэффициент для практически постоянного воздействия, принимают из таблицы 5.3 в [1].

Расчетное значение прогиба по оси Z:

$$u_{E,z,d} = u_{z,fin,g} + u_{z,fin,q} = 0,152 + 0,4 = 0,552 \text{ мм}.$$

Значение прогиба по оси Y определяют от каждого действия нагрузки:

– от постоянной нагрузки:

$$u_{y,fin,g} = u_{y,inst,g} \cdot (1 + k_{def}) = 0,095 \cdot (1 + 0,6) = 0,152 \text{ мм};$$

– от снеговой нагрузки:

$$u_{y,fin,q} = u_{y,inst,q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 0,4 \text{ мм};$$

Расчетное значение прогиба по оси Y:

$$u_{E,y,d} = u_{y,fin,g} + u_{y,fin,q} = 0,152 + 0,4 = 0,552 \text{ мм}$$

Расчетное результирующее значение прогиба элемента обрешетки определяют из выражения:

$$u_{E,d} = \sqrt{u_{E,z,d}^2 + u_{E,y,d}^2} = \sqrt{0,552^2 + 0,552^2} = 0,78 \text{ мм}.$$

Проверяют выполнение условия

$$u_{E,d} = 0,78 \text{ мм} < u_{E,C} = \frac{1}{150} \cdot l_d = \frac{1}{150} \cdot 1200 = 8 \text{ мм}.$$

Предельное состояние эксплуатационной пригодности элементов обрешетки обеспечивается.

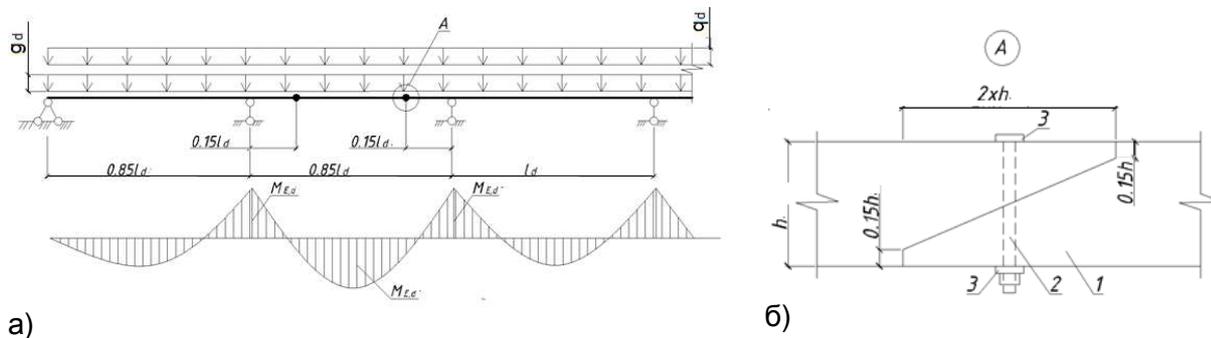
3.3 Конструирование и расчёт прогонов

3.3.1 Прогоны предназначены для восприятия нагрузок от кровли и передачи её на несущие конструкции покрытия. Обычно применяют прогоны следующих типов: разрезные, консольно-балочные и неразрезные (спаренные).

Прогоны могут изготавливаться из пиломатериалов, клееной древесины, древесины клееного шпона, комбинации плитных материалов (ОСП, фанеры, ДВП) поперечным сечением в форме двутавра (стенками из ОСП, фанеры, ДВП, а пояса – из пиломатериалов). По статической схеме прогоны бывают разрезные и неразрезные.

3.3.2 Разрезные прогоны рекомендуется применять при пролётах более 6 м. Такие прогоны выполняются, как правило, из клееной древесины или же из пиломатериалов (досок на ребро) с выполнением стыков впритык на опорах по их длине.

3.3.3 Консольно-балочные прогоны применяются при шаге несущих конструкций до 4,7 м и выполняются из пиломатериалов цельного сечения. Стыки-шарниры таких прогонов размещают попарно через пролёт, выполняя их косым прирубом с постановкой одного или двух болтов диаметром не менее 8 мм (рис. 3.4). При расположении шарниров на расстоянии $0,15 l_d$ от центра опоры, где l_d – пролёт прогона, и длине крайних пролётов $0,85 l_d$, максимальные изгибающие моменты на опорах и в пролётах равны. При таких длинах крайних и внутренних пролетов, расчетную схему прогонов рассматривают как равномоментную.



1 – прогон; 2 – болт; 3 – квадратная шайба

а) – расчётная схема и эпюра изгибающих моментов; б) – шарнир в виде косого прируба;

Рисунок 3.4 – Расчетная схема и конструктивное решение стыка консольно-балочного прогона

3.3.4 Неразрезные (спаренные) прогоны применяются при шаге несущих конструкций от 4,5 до 6,0 м и состоят из двух спаренных досок, установленных на ребро. Доски стыкуют по длине в разбежку слева и справа от центра опор на расстоянии $0,2 l_d$, т.е. в месте нулевого момента. Стыки осуществляются с использованием гвоздей, количество которых определяют расчетом.

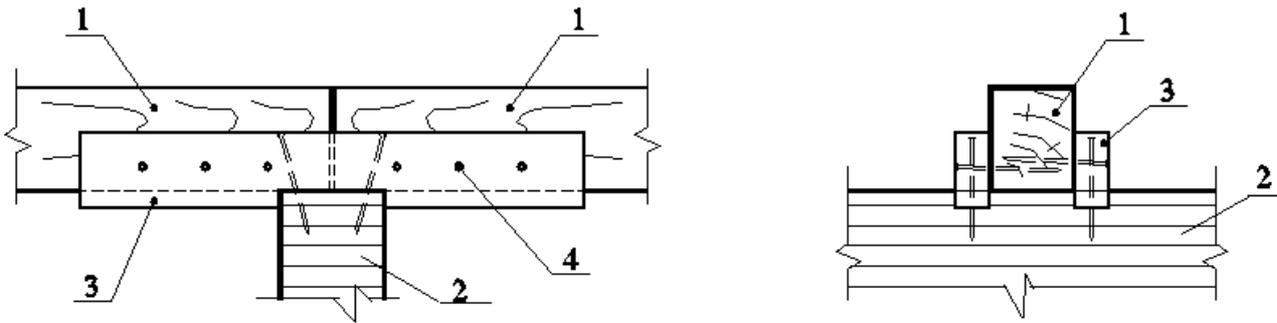
На участках между стыками доски соединяются между собой по ширине гвоздями, располагаемыми по длине прогона через 500 мм в шахматном порядке, то есть вблизи верхней и нижней граней прогона.

3.3.5 В условиях косоугольного изгиба применяются разрезные и консольно-балочные прогоны. Неразрезные (спаренные) прогоны применяются в условиях, когда вертикальная нагрузка перпендикулярна поверхности верхней грани прогона, т.е. косоугольный изгиб исключен.

При назначении размеров поперечного сечения прогонов рекомендуется соблюдать соотношение высоты и ширины в пределах $h/b = (1,25 \div 1,75)$.

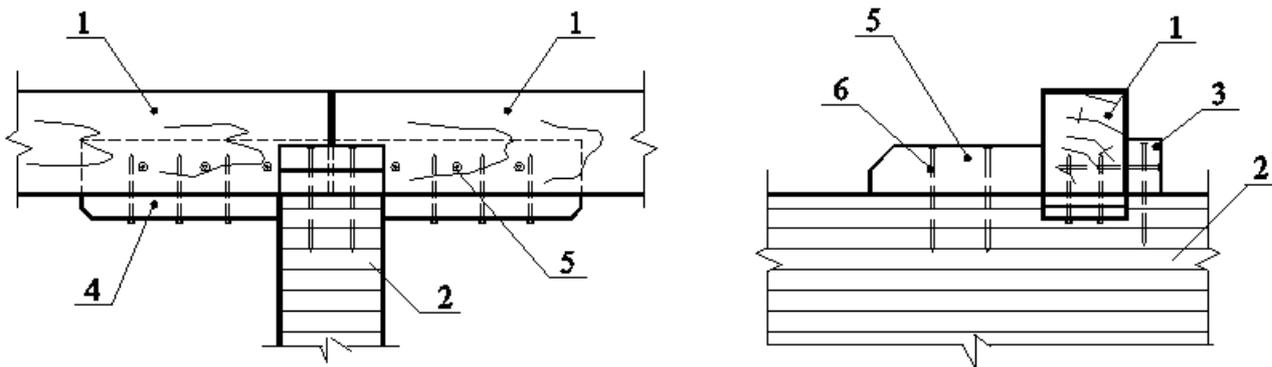
3.3.6 Соединение прогонов с несущими конструкциями осуществляют с использованием механических связей (гвоздей, шурупов, винтов, стальных кронштейнов и т. п.).

Конструктивное решение соединения прогона с несущей конструкцией зависит от типа прогона и наклона несущей конструкции. Некоторые конструктивные схемы узлов соединений прогонов с несущими конструкциями покрытий приведены на (рис. 3.5 ÷ 3.8).



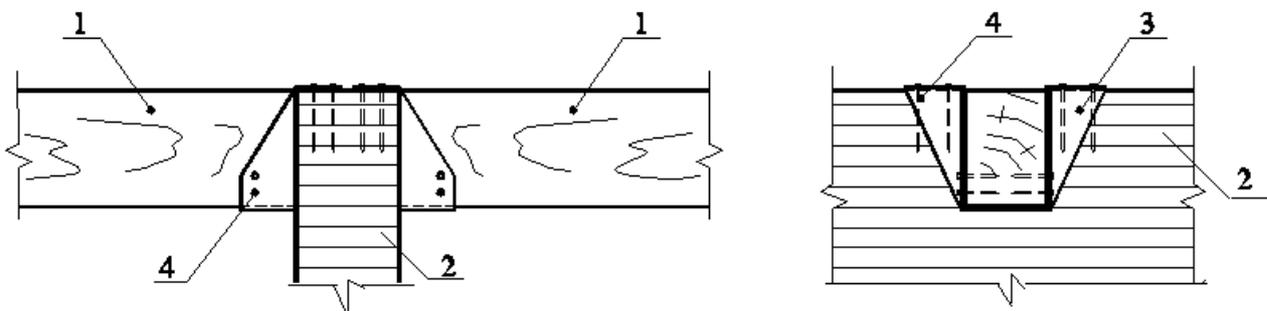
1 – разрезной прогон; 2 – горизонтально расположенная несущая конструкция покрытия;
3 – деревянные накладки с посадочным вырезом на гвоздях; 4 – гвозди

Рисунок 3.5 – Схема узла соединения разрезного прогона с горизонтально расположенной несущей конструкцией покрытия



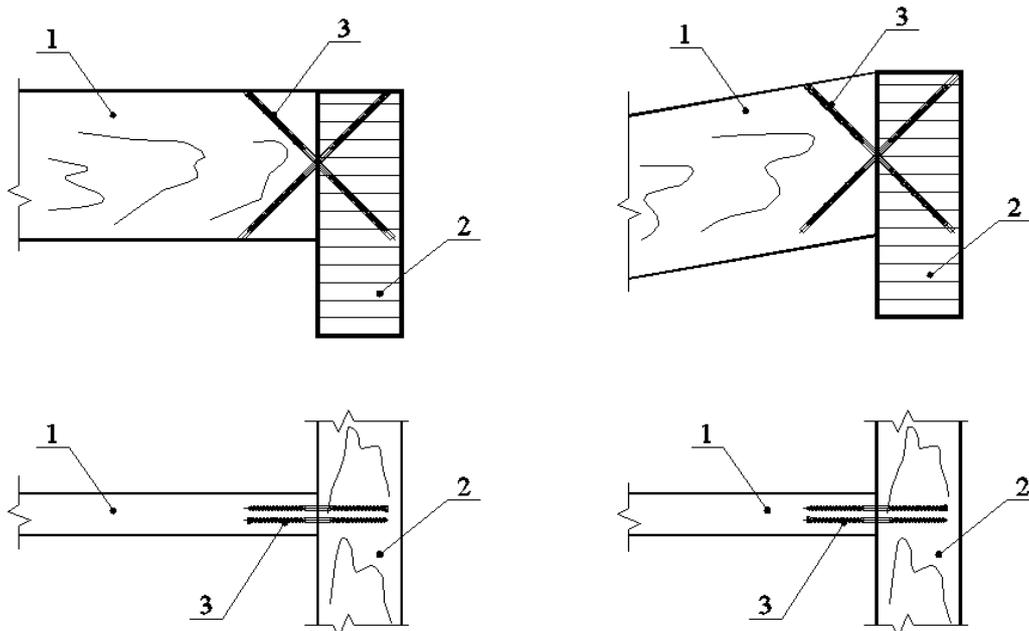
1 – разрезной прогон; 2 – горизонтально расположенная несущая конструкция покрытия; 3 – деревянная накладка на гвоздях; 4 – дощатые прибоины на гвоздях;
5 – деревянная упорная бобышка на гвоздях; 6 – гвозди

Рисунок 3.6 – Схема узла соединения разрезного прогона с горизонтально расположенной несущей конструкцией покрытия



1 – разрезной прогон; 2 – горизонтально расположенная несущая конструкция покрытия;
3 – стальной кронштейн из гнутой полосы на гвоздях (дюбелях); 4 – гвозди

Рисунок 3.7 – Схема узла соединения разрезного прогона с горизонтально расположенной несущей конструкцией покрытия с использованием кронштейнов



1 – разрезной прогон; 2 – балка деревянная; 3 – винты

Рисунок 3.8 – Схема узла соединения разрезного прогона и несущего элемента покрытия с помощью винтов с разным шагом резьбы

3.3.7 Узлы соединения прогонов с несущими конструкциями условно классифицируют на две группы: узлы с опиранием прогонов на верхнюю кромку несущей конструкции (балки, арки, пояса ферм, ригели рам) и узлы с расположением верхней грани прогонов в уровне или ниже верхней грани несущей конструкции.

При расчете узлового соединения прогона с несущей конструкцией по предельным состояниям несущей способности выполняют:

- проверку сопротивления опорной площадки прогона смятию древесины перпендикулярно волокнам в соответствии с правилами пп. 7.3.3 и 7.3.4 [1];
- проверку несущей способности соединения на механических связях (гвоздей, шурупов, стальных элементов и т.п.) в соответствии с правилами раздела 9 в [1].

Для узлов второй группы используют специальные стальные детали виде кронштейнов, уголков, тавровых пластин или же длинных винтов, завинчиваемых под наклоном как в тело прогона, так и самой несущей конструкции. Расчет таких типов узлов зависит от принятого конструктивного решения узла.

3.3.8 Проверку прогонов по предельному состоянию несущей способности выполняют в соответствии с правилами, установленными в подразделе 7.3 [1], т. е. должны соблюдаться условия

$$\frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} \leq 1, \quad (3.24)$$

$$\frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1, \quad (3.25)$$

$$\frac{V_{E,d}}{V_{R,d}} \leq 1, \quad (3.26)$$

где $M_{y,E,d}$ и $M_{z,E,d}$ – расчетные значения изгибающего момента в сечении прогона, если изгиб происходит относительно осей y и z соответственно, обусловленного внешними воздействиями;

$V_{E,d}$ – расчетное значение сдвигающего усилия в сечении прогона, обусловленного внешним воздействием;

$M_{y,R,d}$ и $M_{z,R,d}$ – расчетные значения сопротивления в нормальном сечении прогона, подверженного изгибу относительно осей y и z соответственно;

$V_{R,d}$ – расчетное значение сопротивления сдвигу древесины вдоль волокон в сечении прогона.

Значения $M_{y,R,d}$, $M_{z,R,d}$ и $V_{R,d}$ определяют в соответствии с правилами п. 7.3.2 и п. 7.3.3 [1].

3.3.9 Расчётные значения изгибающих моментов $M_{y,E,d}$ и $M_{z,E,d}$ в сечениях прогонов, нагруженных по всему пролету равномерно распределенной нагрузкой g_y и g_z в направлении осей y и z , определяют по формулам:

– для разрезного прогона

$$M_{y,E,d} = \frac{g_{z,d,l} \cdot l_d^2}{8}, \quad (3.27)$$

$$M_{z,E,d} = \frac{g_{y,d,l} \cdot l_d^2}{8}; \quad (3.28)$$

– для консольно-балочного прогона

$$M_{y,E,d} = \frac{g_{z,d,l} \cdot l_d^2}{16}, \quad (3.29)$$

$$M_{z,E,d} = \frac{g_{y,d,l} \cdot l_d^2}{16}; \quad (3.30)$$

– для неразрезного (спаренного) прогона

$$M_{y,E,d} = \frac{g_{z,d,l} \cdot l_d^2}{12}, \quad (3.31)$$

$$M_{z,E,d} = \frac{g_{y,d,l} \cdot l_d^2}{12}, \quad (3.32)$$

где $g_{y,d,l}$ и $g_{z,d,l}$ – расчётные значения равномерно распределенных нагрузок в направлении осей y и z , определенные с учётом их комбинационных сочетаний в соответствии с п. 5.3.5 [1];

l_d – расчётный пролёт прогона.

При расположении прогонов на поясах стропильных конструкций, когда $\operatorname{tg} \alpha = 0,05 \div 0,13$, расчёт прогонов допускается выполнять на составляющую g_z . Если к прогонам и верхней кромке стропильной конструкции прикреплен двухслойный косой настил, при расчете прогонов скатную g_y составляющую не учитывают.

3.3.10 Проверку прогонов по предельному состоянию эксплуатационной пригодности выполняют в соответствии с правилами раздела 8 в [1], т. е. соблюдения условия

$$u_{E,d} \leq u_{C,d}, \quad (3.33)$$

где $u_{E,d}$ – расчетное значение прогиба прогона в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности, определяемое на основе расчета;

$u_{C,d}$ – предельно допустимое значение прогиба прогона.

3.3.11 Расчетное значение $u_{E,d}$ прогиба определяет от непосредственного приложения нагрузки и с учётом ползучести древесины, используя формулу

$$u_{E,d} = u_{fin,d} = u_{inst,d} + u_{creep,d}, \quad (3.34)$$

где $u_{inst,d}$ – расчетное значение начального прогиба от непосредственного приложения нагрузки для их характеристического сочетания;

$u_{creep,d}$ – расчетное значение прогиба от ползучести древесины для практически постоянного сочетания нагрузок.

3.3.12 Расчетные значения начальных $u_{inst,d}$ прогибов определяют по формулам:

– для разрезного прогона

$$u_{inst,d} = \frac{5}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d}; \quad (3.35)$$

– для консольно-балочного прогона

$$u_{inst,d} = \frac{2}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d}; \quad (3.36)$$

– для неразрезного прогона

$$u_{inst,d} = \frac{1}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d}. \quad (3.37)$$

3.3.13 Расчетное значение составляющей прогиба в результате ползучести древесины определяют по формуле

$$u_{creep,d} = u_{inst,d} \cdot k_{def}. \quad (3.38)$$

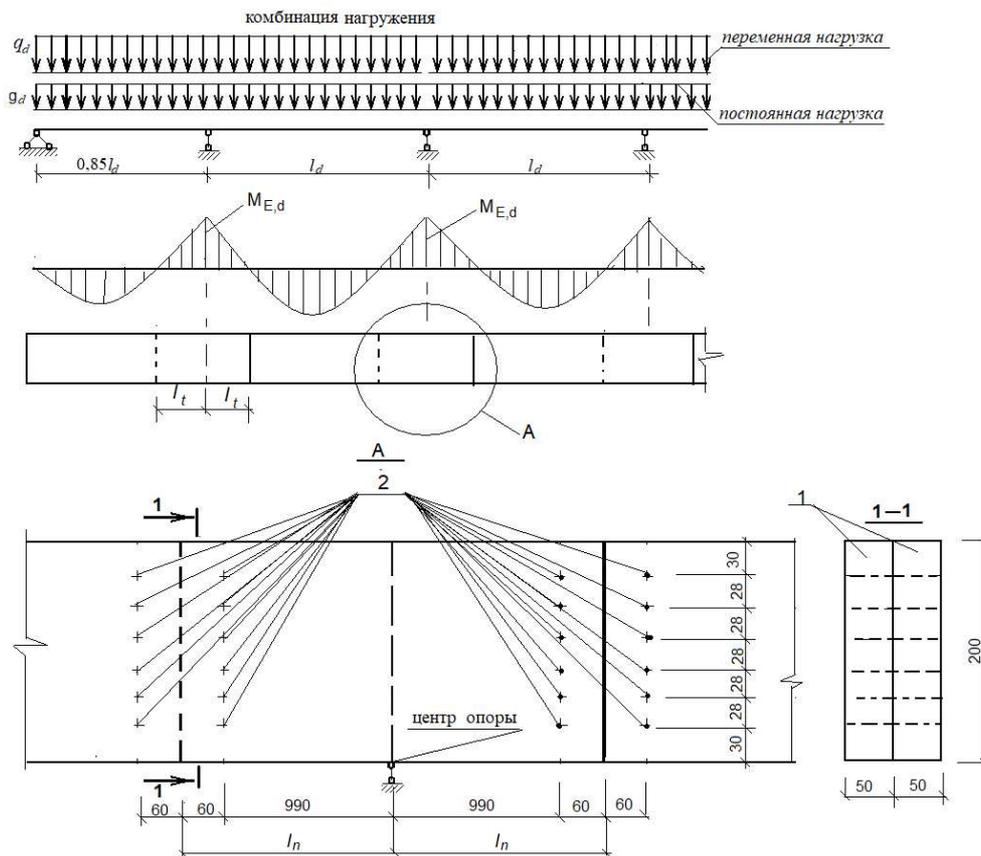
Пример 4. Конструирование и расчет спаренного прогона

Запроектировать неразрезной (спаренный) прогон покрытия по исходным данным, приведенным в примере 2. Прогон опирается на верхнюю грань стропильной конструкции шириной $b_c = 120$ мм и соединен посредством гвоздей. По прогонам выполнена утепленная кровля основанием, для которой является однослойный настил из досок толщиной 25 мм. Класс эксплуатации здания 2, класс последствий СС3, класс прочности пиломатериалов С 27.

Шаг прогонов 1,4 м, шаг стропильных малоуклонных конструкций 5,0 м.

Конструктивное решение прогона

Поскольку пролёт прогона, равный шагу стропильных конструкций, т.е. $l_d = 5$ м $>$ 4,7 м, принимаем в соответствии с п. 3.3.4 настоящего пособия конструкцию многопролётного прогона. Поперечное сечение прогона состоит из 2-х досок общей шириной $b = 100$ мм и высотой $h = 200$ мм, установленных на ребро и стыкуемых по длине вразбежку. Слева и справа от опор на расстояние $l_n = 0,21 l_d$ (рис. П.4).



1 – доски; 2 – гвозди

Рисунок П.4 – Расчетная схема неразрезного прогона и узла стыка

Определение характеристических и расчетных значений постоянной нагрузки

Характеристическое значение постоянной равномерно распределенной нагрузки на единицу площади от собственного веса кровли, настила и собственного веса прогона сечением $b \times h = 100 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$ определяют из выражения

$$g_{k,A} = g_{k1,A} + g_{k2,A} = g_{k1,A} + \frac{b \cdot h \cdot \gamma_{C27}}{a} = 0,697 + \frac{0,10 \cdot 0,20 \cdot 450}{1,4} = 0,761 \text{ кН} / \text{м}^2,$$

здесь $g_{k1,A}$ – характеристическое значение собственного веса настила и кровли, равное $0,697 \text{ кН} / \text{м}^2$;

$g_{k2,A}$ – характеристическое значение собственного веса прогона сечением $b \times h = 100 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$;

γ_{C27} – объемный вес пиломатериала класса прочности C27, принимаемый в соответствии с таблицей Б.1 приложения А настоящего пособия;

b и h – соответственно общая ширина и высота поперечного сечения прогона.

Расчетное значение постоянной нагрузки на единицу площади определяют из выражения

$$g_{d,A} = g_{k,A} \cdot \gamma_G = 0,761 \cdot 1,35 = 1,026 \text{ кН} / \text{м}^2,$$

где $\gamma_G = 1,35$ – значение частного коэффициента в случае постоянного воздействия для предельного состояния несущей способности.

Характеристическое и расчетное значение погонной постоянной нагрузки определяют из выражений

$$g_{k,l} = g_{k,A} \cdot a = 0,761 \cdot 1,4 = 1,065 \text{ кН / м} = 1,065 \text{ Н / мм},$$

$$g_{d,l} = g_{d,A} \cdot a = 1,027 \cdot 1,4 = 1,44 \text{ кН / м} = 1,44 \text{ Н / мм},$$

здесь a – шаг прогонов, равный 1,4 м.

Определение характеристических и расчетных значений снеговой нагрузки

Характеристическое и расчетное значение снеговой нагрузки на покрытие принимают равным значениям, приведенным в примере 2, т. е.

$$q_{k,l} = 1,24 \cdot 1,4 = 1,722 \text{ кН / м} = 1,722 \text{ Н / мм},$$

$$q_{d,l} = q_{k,l} \cdot a = 1,84 \cdot 1,4 = 2,578 \text{ кН / м} = 2,578 \text{ Н / мм}.$$

Определение расчетных значений изгибающих моментов в сечениях прогона

В соответствии с п. 3.3.8 настоящего пособия определяют максимальные расчетные значения изгибающих моментов, опорных реакций и поперечных сил, исходя из сочетания воздействий.

Значения изгибающих моментов определяют по формулами (3.31) и (3.32) настоящего пособия. Поскольку кровля (уклон основной несущей конструкции покрытия менее 10^0) малоуклонная, то составляющую нагрузки $g_{y,d}$ не учитывают.

$$M_{E,d1} = k_{F1} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d^2}{12} = 1,1 \cdot (1,44 + 2,578) \cdot \frac{5^2}{12} = 9,2 \text{ кН} \cdot \text{м} = 9,2 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Расчетные значения реакций на промежуточных опорах неразрезного прогона определяем по формуле

$$V_{E,d} = k_{F1} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot 1,32 \cdot l_d = 1,1 \cdot (1,44 + 2,578) \cdot 1,32 \cdot 5 = 25 \text{ кН} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Расчетные значения поперечных сил на промежуточных опорах прогона определяем по формуле

$$V_{v,E,d} = k_{F1} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot 0,605 \cdot l_d = 1,1 \cdot (1,44 + 2,578) \cdot 0,605 \cdot 5 = 13,2 \text{ кН} = 1,32 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Проверка прогона по предельным состояниям несущей способности

Проверка прогона по предельным состояниям несущей способности включает:

- проверку сопротивления опорных площадок прогона сжатию древесины поперек волокон в соответствии с правилами п. 7.7.3 [1];
- проверку сопротивления сдвигу древесины вдоль волокон в нормальном сечении прогона в соответствии с п. 3.3.8 настоящего пособия;
- проверку сопротивления нормального сечения прогона изгибу в соответствии с п. 3.3.8 настоящего пособия.

Проверку сопротивления опорных площадок прогона сжатию древесины поперек выполняют, используя следующий расчетный алгоритм:

- определение расчетных значений прочности древесины прогона при сжатии перпендикулярно волокнам, сдвиге вдоль волокон и изгибе, используя следующие выражения

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 2,7}{1,3} = 1,66 \text{ МПа} ;$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 2,8}{1,3} = 1,72 \text{ МПа} ;$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 27}{1,3} = 16,6 \text{ МПа},$$

здесь $k_{\text{mod}} = 0,8$ – значение частного коэффициента модификации древесины для класса эксплуатации 2 при действии среднесрочной (снеговой) нагрузки, таблица 5.4 [1];

k_{sys} – значение коэффициента, учитывающего изменение прочности материала в элементах системы.

k_h – коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины при изгибе в зависимости от высоты элемента по отношению к стандартному ее значению, определяемый по формуле (5.3) в [1]. Поскольку высота прогона $h > 150$ мм, $k_h = 1$;

$f_{c,90,d} = 2,7$ – характеристическое значение прочности древесины сжатию поперек волокон для пиломатериала класса прочности С27, принимаемое из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или таблицы 6.2 [1];

$f_{m,k} = 27 \text{ Н/мм}^2$ – характеристическое значение прочности древесины на изгиб для пиломатериала класса прочности С27, принимаемое из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или таблицы 6.2 [1];

$f_{v,k} = 2,8 \text{ Н/мм}^2$ – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон для пиломатериала класса прочности С27, принимаемое из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или таблицы 6.2 [1];

$\gamma_M = 1,3$ – частный коэффициент свойств пиломатериала, принимаемый из таблицы 5.6 [1];

– определение расчетного значения сопротивления опорной площадки прогона сжатию древесины поперек волокон

$$N_{c,90,R,d} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \cdot A_{90,d} = 1,5 \cdot 1,66 \cdot 120 \cdot 100 = 29 \text{ кН} = 2,9 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

– проверка условия

$$\frac{V_{E,d}}{V_{v,R,d}} = \frac{2,5 \cdot 10^4}{2,9 \cdot 10^4} = 0,86 < 1 \quad \text{– условие выполнено};$$

– определение расчетного значения сопротивления в опорном сечении прогона при сдвиге древесины вдоль волокон

$$V_{v,R,d} = \frac{f_{v,d} \cdot b \cdot k_{cr} \cdot h}{1,5} = \frac{1,72 \cdot 100 \cdot 0,67 \cdot 200}{1,5} = 1,54 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

– проверка условия

$$\frac{V_{v,E,d}}{V_{v,R,d}} = \frac{1,32 \cdot 10^4}{1,54 \cdot 10^4} = 0,857 < 1 \quad \text{– условие выполнено};$$

– определение расчетного значения сопротивления в нормальном сечении прогона при его изгибе

$$M_{R,d} = \frac{b \cdot h^2 \cdot f_{m,d}}{6} = \frac{100 \cdot 200^2 \cdot 16,6}{6} = 11,07 \text{ кН} \cdot \text{м} = 11,07 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2,$$

$$\frac{M_{E,d}}{M_{R,d}} = \frac{9,2 \cdot 10^6}{11,07 \cdot 10^6} = 0,79 < 1 \quad \text{– условие выполняется.}$$

На основании выполненных проверок несущая способность прогона обеспечена.

Проверка прогона по предельному состоянию эксплуатационной пригодности

Проверку прогона по предельному состоянию эксплуатационной пригодности выполняют в соответствии с правилами подраздела 8.1 [1]. Для выполнения данной проверки можно руководствоваться следующим алгоритмом расчета:

– определение расчетного значения момента инерции прогона, используя выражение

$$I_d = \frac{b_d \cdot h_d^3}{12} = \frac{100 \cdot 200^3}{12} = 6,66 \cdot 10^7 \text{ мм}^4 .$$

– определение величины начального прогиба от непосредственного приложения нагрузок, используя выражение

$$u_{inst,d} = \frac{1}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d} = \frac{1}{384} \cdot \frac{1,1 \cdot (1,065 + 1,722) \cdot 5000^4}{11000 \cdot 6,66 \cdot 10^7} = 6,8 \text{ мм};$$

– определение величины прогиба от ползучести древесины; первоначально определяют расчетное значение эффекта E_d воздействий в сочетании с доминирующей снеговой нагрузкой, используя выражение

$$E_d = q_{d,l} = k_{F1} \cdot (g_{k,l} + \psi_2 \cdot q_{k,l}) = 1,1 \cdot (1,065 + 0 \cdot 1,722) = 1,17 \text{ кН / мм},$$

здесь $\psi_2 = 0$ – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменной нагрузки (снеговой), принимаемый из таблицы 5.3 [1].

Значение $u_{creep,d}$ прогиба от ползучести в данном примере определяют только от постоянной нагрузки, используя выражение

$$u_{creep,d} = u_{inst,g} \cdot k_{def} = 260 \cdot 0,6 = 1,56 \text{ мм},$$

а значение окончательного расчётного прогиба определяют из выражения

$$u_{E,d} = u_{fin,g,d} = u_{inst,d} + u_{creep,g} = 6,8 + 1,56 = 8,36 \text{ мм};$$

– выполняют проверку выполнения условия

$$\frac{u_{E,d}}{I_d} = \frac{8,36}{5000} = \frac{1}{590} < \frac{u_{C,d}}{I_d} = \frac{1}{200} \text{ – условие по ограничению прогиба выполняется.}$$

Предельное состояние эксплуатационной пригодности обеспечивается.

Проверка стыка прогона по предельным состояниям несущей способности

Для выполнения данной проверки можно руководствоваться следующим алгоритмом расчета:

– **конструирование стыка прогона**

В стыке прогона применяем гвозди диаметром 4 мм и длиной 100 мм в один ряд с каждой стороны стыка (рис. П. 4). Расстояние от центра опоры до центра гвоздевого забоя, определяют из выражения

$$l_n = 0,21 \cdot l_d - 10 \cdot d = 0,21 \cdot 500 - 10 \cdot 4 = 1010 \text{ мм},$$

здесь $10 \cdot d$ – расстояние до ненагруженного торца, принимаемое из таблицы 9.7 в [1].

– определение несущей способности $F_{v,ef,Rd}$ соединения

Поскольку гвозди расположены в один ряд с одной плоскостью сдвига, несущую способность определяют по формуле (9.7) в [1], т.е.

$$F_{v,ef,Rd} = F_{v,R,d,min} \cdot n_{ef},$$

где $F_{v,ef,Rd}$ – минимальное расчетное значение несущей способности для одного среза гвоздя в ряду соединения;

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

Требуемое количество гвоздей в ряду соединения для восприятия поперечной силы определяем по формуле

$$n_{ef} = \frac{F_{v,E,d}}{F_{v,R,d,min}},$$

где $F_{v,R,d,min}$ – минимальное расчетное значение несущей способности для одного среза гвоздя, определяемое по формуле

$$F_{v,R,d,min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,R,k,min}}{\gamma_M},$$

здесь $F_{v,R,k,min}$ – минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза гвоздя, определяемое по формулам таблицы 9.1 [1];

$F_{v,E,d} = \frac{M_{E,d}}{2 \cdot l_n}$ – расчетное значение усилия сдвига в соединении;

$M_{E,d}$ – расчетное значение изгибающего момента на опоре.

За величину $F_{v,R,k,min}$ принимают, наименьшее из 6 значений, вычисленных по следующим формулам:

$$1) F_{v,R,k1} = f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d = 20 \cdot 50 \cdot 4 = 4000 \text{ Н},$$

здесь $f_{h1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 370 \cdot 4^{-0,3} = 20 \text{ Н/мм}^2$, – характеристическое значение сопротивления древесины вдавливанию гвоздя плашмя для элемента t_1 ; таблица 9.5 [1];

$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$ – характеристическое значение плотности древесины досок для класса прочности С27 в соответствии с таблицей Б.1 приложения Б настоящего пособия или таблице 6.2 в [1].

2) Поскольку толщины досок прогона одинаковые, то $F_{v,R,k1} = F_{v,R,k2}$.

$$3) F_{v,R,k3} = \frac{h_{1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} =$$

$$= \frac{20 \cdot 50 \cdot 4}{1 + 1} \left[\sqrt{1 + 2 \cdot 1 \left[1 + 1 + 1^2 \right] + 1^3 \cdot 1^2} - 1 \cdot (1 + 1) \right] + \frac{546}{4} = 1503 \text{ Н},$$

здесь $F_{ax,R,k} = f_{ax,k} \cdot t_{pen} = 2,73 \cdot 4 \cdot 50 = 546 \text{ Н/мм}^2$ – характеристическое значение несущей способности гвоздя на выдёргивание, определенное по формуле (9.35) в [1];

$f_{ax,k}$ – характеристическое значение сопротивления гвоздя выдергиванию из древесины досок определяемое как

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 370 = 2,73 \text{ Н / мм}^2;$$

$t_{pen} = 50 \text{ мм}$ – расчетная длина заземленной части гвоздя со стороны острия.

$$4) F_{v,R,k4} = \frac{1,05 \cdot f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,R,k}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} =$$

$$= \frac{1,05 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 4}{2 + 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1(1 + 1) + \frac{4 \cdot 1(2 + 1) \cdot 6616}{20 \cdot 50^2 \cdot 4}} - 1 \right] + \frac{546}{4} = 1708 \text{ Н},$$

где $M_{y,R,k}$ – характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя, определяемое по формуле таблицы 9.4 в [1], т. е.

$$M_{y,R,k} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 4^{2,6} = 6616 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$5) F_{v,R,k5} = \frac{1,05 \cdot f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) \cdot M_{y,R,k}}{f_{h1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} =$$

$$= \frac{1,05 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 4}{1 + 2 \cdot 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1^2(1 + 1) + \frac{4 \cdot 1(1 + 2 \cdot 1) \cdot 6616}{20 \cdot 50^2 \cdot 4}} - 1 \right] + \frac{546}{4} = 1708 \text{ Н},$$

$$6) F_{v,R,k6} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \times \sqrt{2 \cdot M_{y,R,k} \cdot f_{h1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,R,k}}{4} =$$

$$= 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \times \sqrt{2 \cdot 6616 \cdot 20 \cdot 4} + \frac{546}{4} = 1319 \text{ Н}.$$

Минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза гвоздя составило $F_{v,R,k, \min} = 1319 \text{ Н}$. Тогда минимальное расчётное значение несущей способности одного среза гвоздя будет равно

$$F_{v,R,d,\min} = \frac{0,8 \cdot 1319}{1,3} = 811,6 \text{ Н},$$

а расчетное значение усилия сдвига в соединении будет равно

$$F_{v,E,d} = \frac{M_{E,d}}{2 \cdot l_n} = \frac{9,2 \cdot 10^6}{2 \cdot 1010} = 4554 \text{ Н}.$$

Тогда требуемое количество гвоздей в ряду будет составлять

$$n_{ef} = \frac{F_{v,E,d}}{F_{v,R,d,\min}} = \frac{4554}{811,6} = 5,39 \text{ шт}.$$

Принимают 6 гвоздей в одном ряду (рис. П.4).

– выполняют проверку расположения гвоздей по высоте сечения прогона, используя выражение

$$a_2 = \frac{h_d}{n_{ef} + 1} = \frac{200}{6 + 1} = 28,5 \text{ мм} > a_{Ed} = 5 \cdot d = 20 \text{ мм}.$$

Таким образом, несущая способность стыка обеспечена.

3.4 Основные правила конструирования и расчета плит покрытий

3.4.1 для покрытий зданий могут использоваться как утепленные, так и неутепленные плиты покрытий. Для мягких кровель используют следующие типы утепленных плит:

- ребристые с двусторонними обшивками из водостойкой фанеры;
- с двусторонними обшивками из плоских асбестоцементных листов на шурупах по деревянному каркасу;
- с двусторонними обшивками из ОСП или ЦСП.

Для кровель из волнистых асбестоцементных листов, стального профилированного настила, плоских стальных листов, черепицы и т. п. используют:

- ребристые с нижней обшивкой из водостойкой фанеры по деревянному каркасу;
- с нижней обшивкой из плоских асбестоцементных листов, ОСП, ЦСП или декоративного фибролита и других звукопоглощающих материалов на шурупах по деревянному каркасу.

В качестве утеплителя рекомендуется использовать минераловатные плиты на синтетическом связующем, укладываемые на нижнюю обшивку по слою наклеенной или покрасочной пароизоляции.

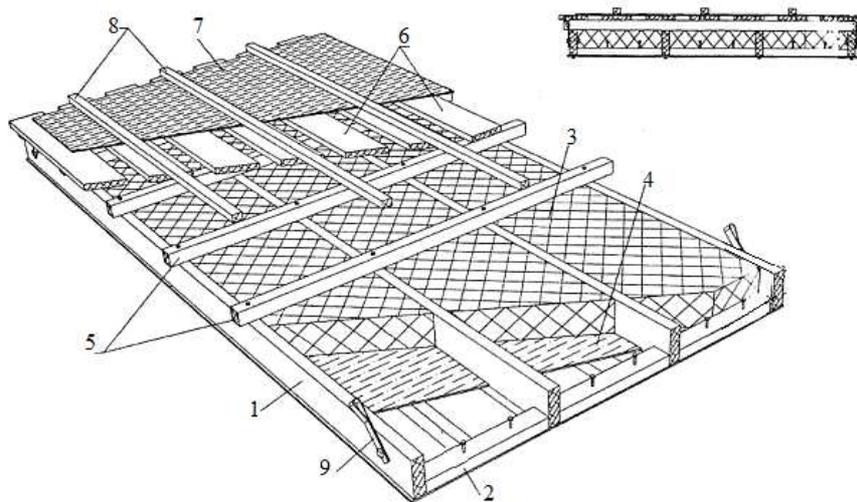
Некоторые примеры конструктивных решений плит покрытия приведены на рисунках 3.9 и 3.10.

3.4.2 Крепление плит к несущим конструкциям в местах их опирания рекомендуется устраивать сверху на пролетную конструкцию. Конструкция крайних продольных ребер должна допускать выполнение утепленного стыка между плитами (рис. 3.10).

3.4.3 Рекомендуемые размеры плит:

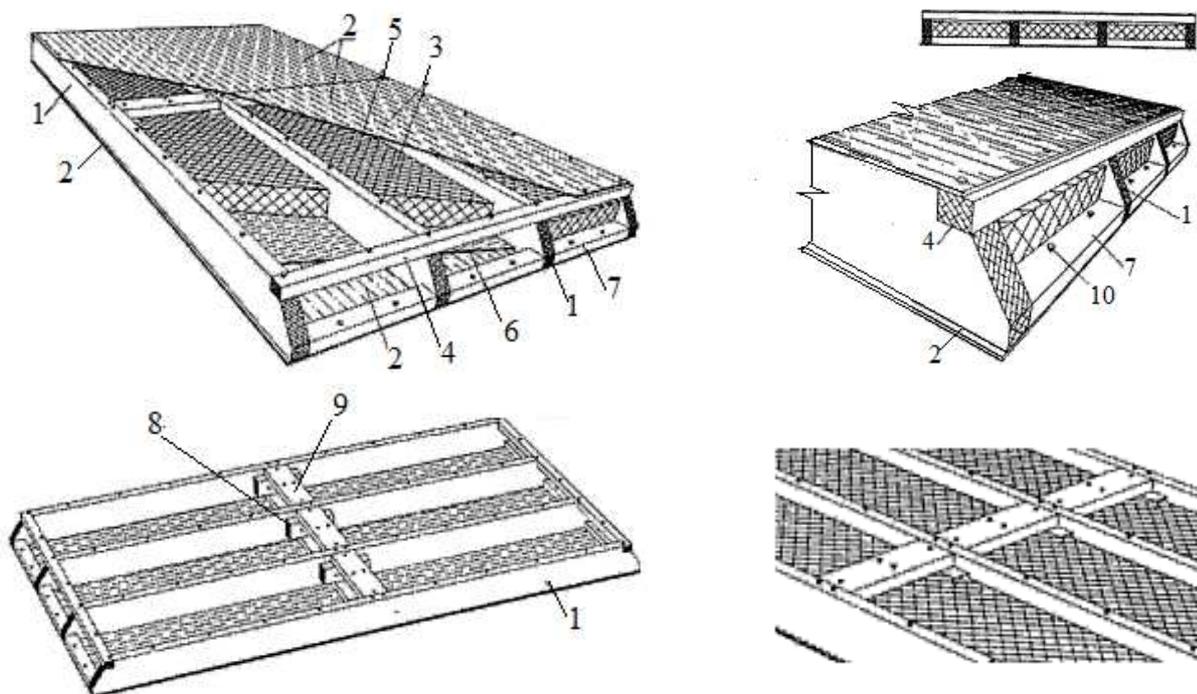
- номинальная b ширина 1,5 м;
- высота h составляет $1/30 \div 20$ от ее длины l ;
- длина l до 6 м при опирании на несущие конструкции, располагаемые поперек здания.

При шаге несущих конструкций 3 м рекомендуется применять двухпролетные плиты длиной 6 м и доборные длиной 3 м. Укладку тех и других плит должны выполнять вразбежку. При шаге несущих конструкций 4,5 и 6 м рекомендуется использовать однопролетные плиты номинальной длиной 4,5 и 6 м. В случае опирания плит на несущие конструкции, расположенные вдоль здания, при двухскатных и односкатных кровлях допускается использовать плиты с номинальной длиной 9 и 12 м.



- 1 – продольные несущие ребра из пиломатериалов или клееной древесины;
2 – нижняя обшивка, соединенная с ребрами посредством винтов или скоб; 3 – утеплитель;
4 – пароизоляция; 5 – бруски для обеспечения продуха утеплителя;
6 – дощатый разреженный настил; 7 – паропроницаемый гидроизоляционный слой;
8 – обрешетка под черепичную кровлю; 9 – монтажные петли

Рисунок 3.9 – Конструктивная схема плиты покрытия на деревянном каркасе с нижней обшивкой из ОСП или ЦСП с поэлементной сборкой черепичной кровли



- 1 – продольные ребра из пиломатериалов или клееной древесины;
 2 – обшивки из ОСП или ЦСП; 3 – винты (шурупы) для крепления обшивки;
 4 – брусок; 5 – утеплитель; 6 – слой пароизоляции; 7 – распределительная доска;
 8 – прокладка (брусок); 9 – стыковочная накладка;
 10 – гвозди или виты для крепления плиты к несущим конструкциям

Рисунок 3.10 – Конструктивная схема плиты на деревянном каркасе с верхней и нижней обшивкой из ОСП или ЦСП

3.4.4 Обшивки ребристых плит изготавливаются из фанеры по [7] толщиной не менее 6 мм, а деревянный каркас – из пиломатериалов хвойных пород (см. табл. 6.2 [1]), клееной древесины (см. табл. 6.4 или 6.4 в [1]) или клееного шпона.

Каркас ребристых плит состоит из продольных ребер. Шаг между осями продольных ребер определяют расчетом. Фанерные обшивки и продольные ребра каркаса соединяются между собой в одно целое на водостойком клее, образуют коробчатое или тавровое расчетное сечение.

3.4.5 Расчет ребристых плит выполняют в соответствии с правилами подраздела 10.3 [1]. Толщина нижней обшивки плит определяется из условий работы ее на растяжение при изгибе целого коробчатого или таврового сечения.

Толщина верхней сжатой обшивки определяется из условия устойчивости при работе на изгиб всего сечения и дополнительно проверяется на местный изгиб от сосредоточенной монтажной нагрузки F . Стыки фанерных обшивок рекомендуется выполнять на «ус» длиной $8 \div 10$ толщин фанеры. Допускается стыкование фанеры с помощью накладок.

3.4.6 В плитах с обшивками из ЦСП, ДВП или ОСП соединение с ребрами выполняют, как правило, на механических связях (гвозди, шурупы, скобы). Шаг продольных ребер определяется расчетом. Поперечные ребра устанавливают по торцам плиты и под стыком обшивок.

3.4.7 Верхнюю обшивку плиты проверяют на прочность и жесткость материала в поперечном сечении, как трехпролетную плиту, находящуюся под воздействием собственного веса, веса кровли и снеговой нагрузки, а также дополнительно – на действие сосредоточенной кратковременной монтажной нагрузки $F = 1$ кН при расчетной ширине верхней обшивки плиты 1000 мм в соответствии с правилами подраздела 10.3 [1]. Нижнюю обшивку проверяют, как трехпролетную плиту, на воздействие ее собственного веса и веса утеплителя. Продольные сплошные ребра рассчитываются, как однопролетные или двухпролетные балки, а продольные ребра с вентиляционными отверстиями рассчитываются, как балки с короткими прокладками на жестких связях. Максимальный

прогиб асбестоцементных листов от характеристического значения равномерно распределенной нагрузки не должен превышать $1/400$ расстояния между осями продольных ребер. Максимальный прогиб продольных ребер от характеристического значения нагрузки не должен превышать $1/250$ их расчетного пролета.

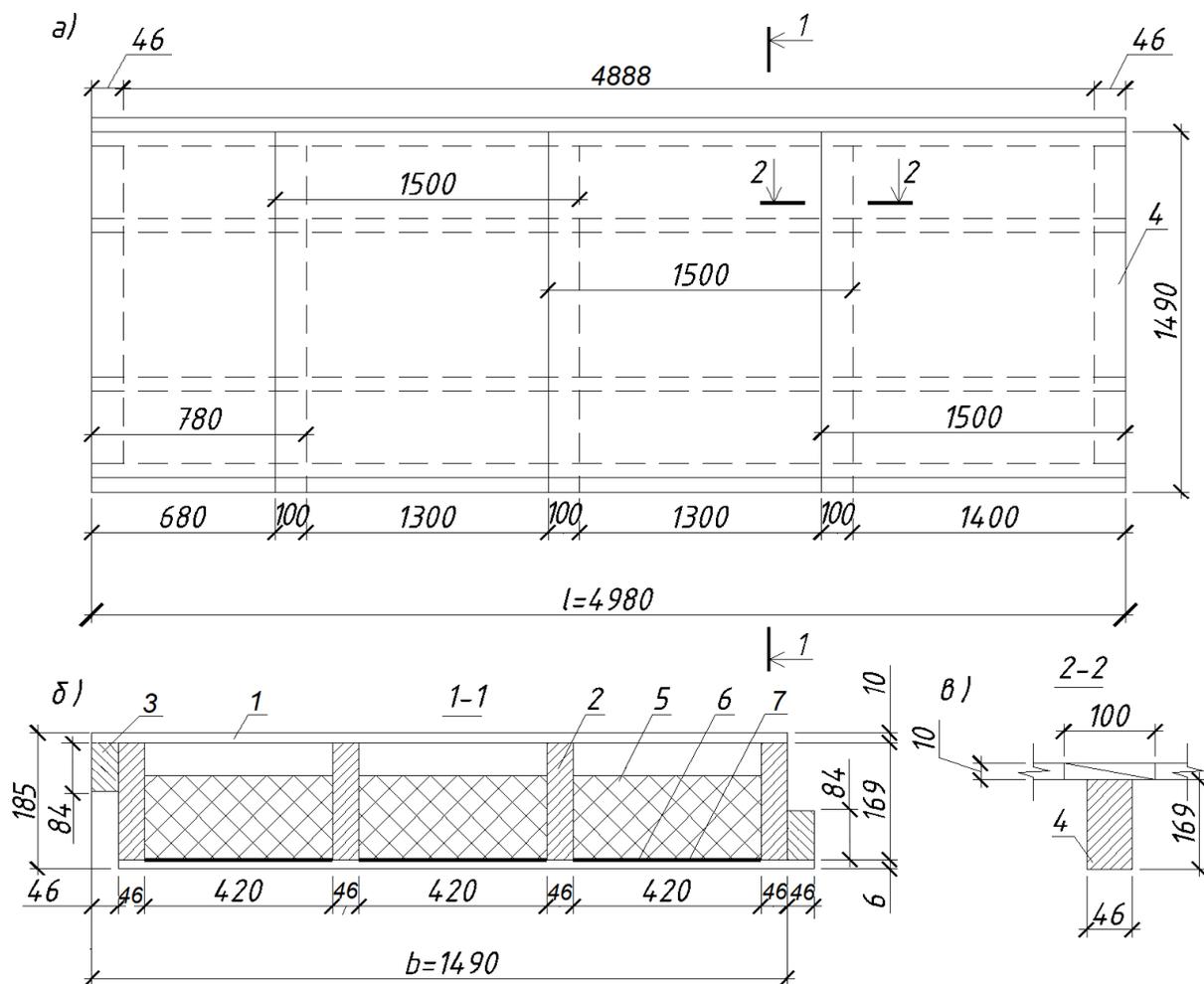
Пример 5. Конструирование и расчет ребристой плиты с фанерными обшивками

Запроектировать ребристую плиту с фанерными обшивками под рулонную малоуклонную кровлю. Шаг несущих конструкций $B=5,0$ м, утеплитель плотностью $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_n = 140$ мм. Класс эксплуатации здания 1, класс последствий СС2, снеговой район 2а.

Материал ребер – древесина хвойных пород классом прочности С27. Материал обшивок – фанера типа F60/10 Е90/10.

Конструктивное решение

Принимаем ребристую плиту номинальными размерами 1500x5000 мм (конструктивные размеры 1490 x 4980 мм), рисунок П.5. Количество продольных ребер 4.



1 – верхняя фанерная обшивка; 2 – продольное ребро; 3 – стыковочный брусок;
 4 – вкладыш; 5 – утеплитель; 6 – слой пароизоляции; 7 – нижняя фанерная обшивка
 а) – план плиты; б) – поперечный разрез плиты; в) – стык фанерной обшивки на «ус»

Рисунок П.5 – Схема ребристой фанерной плиты

Предварительную высоту сечения плиты определяем из выражения

$$h = \frac{1}{30} l_d = \frac{500}{30} = 16,7 \text{ см} .$$

Размеры поперечного сечения продольных рёбер принимаем, исходя из сортамента пиломатериалов в соответствии с данными таблицы А.1 приложения А настоящего пособия.

Предварительно для ребер принимаем пиломатериал поперечным сечением 50 x 175 мм. После острожки высота и ширина поперечного сечения ребра составят:

$$h_w = 175 - 2 \cdot 3 = 169 \text{ мм} \text{ и } b_w = 50 - 2 \cdot 2 = 46 \text{ мм} .$$

Для обеспечения совместной работы плит во время эксплуатации к крайним рёбрам приклеиваются стыковочные бруски, высота сечения которых принимается равной половине высоте сечения продольных рёбер. Поперечные рёбра устанавливаются в торцах плиты и в пролёте в месте стыковки фанерных листов по длине на «ус».

Расстояние между продольными рёбрами в свету определяют, используя выражение

$$b_{ef} = (b - 5b_w) / 3 = (1490 - 5 \cdot 46) / 3 = 420 \text{ мм} .$$

При определении нагрузки на плиту вес поперечных рёбер принимается ориентировочно 30 % от веса продольных рёбер. Для верхней обшивки принимаем фанеру толщиной 10 мм, а для нижней – 6 мм.

Высота сечения плиты будет равна $h_n = 169 + 10 + 6 = 185 \text{ мм}$. Конструкция плиты приведена на рисунке П.5.

Определение характеристических и расчетных значений нагрузок на плиту

Характеристическое значение постоянной погонной нагрузки на плиту определяем в табличной форме.

Таблица 3.1 – Характеристические значения постоянной нагрузки, действующей на плиту

Элементы и подсчёт нагрузки	g_k , кН / м
1. Рулонная кровля $m_1 \times b = 0,09 \cdot 1,5$	0,135
2. Фанерные обшивки $((h_{fc} + h_{ft}) \times \gamma_1 = (0,1 + 0,06) \cdot 6$	0,96
3. Продольные рёбра (с учётом стыковочных брусков) $(b_w + h_w) \times \gamma_2 \cdot 5 = (0,046 \times 0,169) \times 4,5 \times 5$	0,175
4. Поперечные рёбра $0,3 \times 0,175$	0,052
5. Утеплитель $(b_h \cdot \gamma_3) \cdot b_f \times 3 = 0,14 \times 1,0 \times 0,42 \cdot 3$	0,176
6. Пароизоляция $m_2 \cdot b_f \cdot 3 = 0,01 \times 0,42 \cdot 3$	0,0126
Всего	$g_k = 1,51 \text{ кН / м}$
Примечания: $m_1 = 0,09 \text{ кг / м}^2$ – вес трёхслойной рулонной кровли; $\gamma_1 = 6 \text{ кН / м}^3$ – удельный вес фанеры; $\gamma_2 = 4,5 \text{ кН / м}^3$ – удельный вес древесины рёбер; $\gamma_3 = 1 \text{ кН / м}^3$ – удельный вес утеплителя; $m_2 = 0,01 \text{ кг / м}^2$ – вес пароизоляции; $b_f = 420 \text{ мм}$ – расстояние в свету между продольными рёбрами.	

Расчётное значение постоянной погонной нагрузки на плиту определяют из выражения

$$g_{d,l} = g_{k,A} \cdot \gamma_G = 1,51 \cdot 1,35 = 2,04 \text{ кН / м} .$$

В соответствии с СН 2.01.04 характеристическое значение снеговой нагрузки для поверхности грунта для снегового района 2 а $S_k = 1,55 \text{ кН} / \text{м}^2$.

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие определяют из выражения

$$q_{k,A} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \cdot \gamma_Q = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 1,24 \text{ кН} / \text{м}^2 .$$

Расчётное значение снеговой нагрузки на покрытие:

$$q_{d,A} = q_{k,A} \cdot \gamma_Q = 1,24 \cdot 1,50 = 1,86 \text{ кН} / \text{м}^2 .$$

Характеристическое значение снеговой погонной нагрузки на плиту равно:

$$q_{k,l} = q_{k,A} \cdot b = 1,24 \cdot 1,50 = 1,86 \text{ кН} / \text{м} ,$$

где $b = 1500 \text{ мм}$ номинальная ширина плиты

Расчётное значение снеговой погонной нагрузки на плиту равно:

$$q_{d,l} = q_{k,l} \cdot \gamma_Q = 1,86 \cdot 1,50 = 2,79 \text{ кН} / \text{м} .$$

Определение усилий в плите от внешних воздействий

Определение усилий в плите – изгибающего момента и поперечных сил – производят, как для однопролетной шарнирно опертой балки на действие постоянной и снеговой нагрузки. Расчётный пролёт плиты принимают равным

$$l_d = 0,99 \cdot l = 0,99 \cdot 4,98 = 4,93 \text{ м} .$$

Расчётное значение изгибающего момента будет равно:

$$M_{E,d} = k_{Fl} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d^2}{8} = 1 \cdot (2,04 + 2,79) \cdot \frac{4,93^2}{8} = 14,76 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

Расчётное значение поперечной силы будет равно:

$$V_{E,d,1} = k_{Fl} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d}{2} = 1 \cdot (2,04 + 2,79) \cdot \frac{4,93}{2} = 11,9 \text{ кН} .$$

Определение геометрических характеристик поперечного сечения

В соответствии с правилами п.10.43 [1] расчётную $b_{f,c}$ ширину поперечного сечения верхней обшивки принимают с учётом неравномерного распределения напряжений по ширине сечения и обеспечения ее устойчивости. Величину $b_{f,c}$ рассчитывают из выражения

$$b_{f,c} = \sum b_{ef} = 2 \cdot b_{ef} + 2 \cdot b_{ef,1} = 2 \cdot b_{c,ef} + 2 \cdot 0,5 \cdot b_{c,ef} + 4 \cdot b_w = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 0,5 \cdot 20 + 4 \cdot 4,6 = 78,6 \text{ см} = 786 \text{ мм} ;$$

где $b_{c,ef}$ – определяют по формуле, приведенной таблице 10.3 [1], т.е.

$$b_{c,ef} = 20 \cdot h_f = 20 \cdot 1 = 20 \text{ см}$$

Расчётная ширина сечения нижней обшивки принимается равной:

$$b_{f,t} = b_f = 149 \text{ см} ,$$

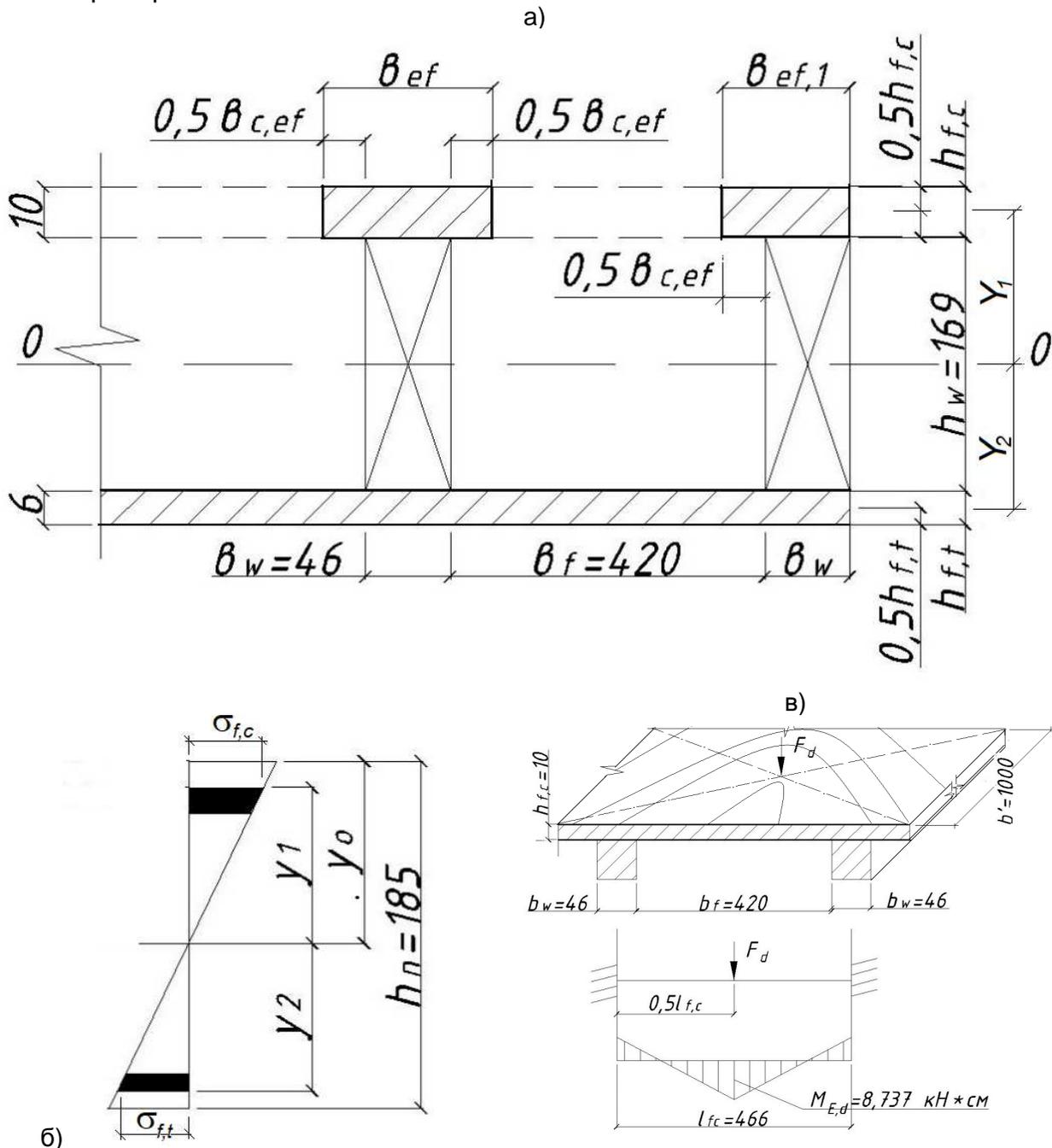
где b – фактическая ширина сечения нижней обшивки.

Положение нейтральной оси сечения (рис. П.2 б) относительно верхней грани плиты определяют, используя выражения

$$y_0 = \frac{S_{e,f}}{A_{e,f}},$$

где $S_{e,f} = S_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot S_w$ – статический момент сечения плиты относительно верхней грани, определенный с учетом различных свойств ребер и обшивок;

$A_{e,f} = A_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot A_w$ – площадь сечения плиты, определенная с учетом различных свойств ребер и обшивок.



а) – расчетное сечение плиты; б) – распределение нормальных напряжений в срединной плоскости обшивки; в) – расчетная схема верхней обшивки на монтажную нагрузку
Рисунок П.2 – Схемы расчетных сечений ребристой плиты

Определяют значения:

$$S_{e,f} = S_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot S_w = 78,6 \cdot 1,0 \cdot 0,5 +$$

$$149 \cdot 0,6 \cdot (18,5 - 0,3) + \frac{11000}{9000} \cdot 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 \cdot \left(\frac{169}{2} + 1,0 \right) = 5251,3 \text{ см}^3,$$

$$A_{e,f} = A_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot A_w = 78,6 \cdot 1,0 + 149 \cdot 0,6 + \frac{11000}{9000} \cdot 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 = 547,3 \text{ см}^2,$$

$$y_0 = \frac{5251,3}{547,3} = 9,59 \text{ см},$$

здесь $E_{w,mean} = 11000 \text{ Н/мм}^2$ – среднее значение модуля упругости древесины ребер класса прочности С27 принимают из таблицы Б.1 приложения Б настоящего пособия или таблицы 6.2 [1];

$E_{f,mean} = 9000 \text{ Н/мм}^2$ – среднее значение модуля упругости фанеры класса F60/10E90/10 обшивок, принимаемое из таблицы 6.5 [1];

$b_{f,c} = 78,6 \text{ см}$ – расчетная ширина сечения верхней обшивки плиты;

$b_{f,t} = 149 \text{ см}$ – расчетная ширина сечения нижней обшивки плиты.

Расстояние от нейтральной оси сечения до середины толщины верхней обшивки:

$$Y_1 = Y_0 - h_{f,c} / 2 = 9,59 - 1 / 2 = 9,09 \text{ см}.$$

Расстояние от нейтральной оси сечения до середины толщины нижней обшивки:

$$Y_2 = h_n - y_0 - h_{f,t} / 2 = 18,5 - 9,59 - 0,6 / 2 = 8,61 \text{ см}.$$

В соответствии с формулой (10.71) [1]; определяют момент инерции сечения плиты относительно нейтральной оси для начального состояния (inst) после непосредственного приложения нагрузок:

$$I_{ef,inst} = I_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot I_w,$$

где I_f – момент инерции сечения обшивок относительно нейтральной оси;

I_w – момент инерции сечения ребер относительно нейтральной оси;

$$I_f = \frac{b_{f,c}^3}{12} + b_{f,c} \cdot h_{f,c} \cdot Y_1^2 + \frac{b_{f,c} \cdot h_{f,c}^3}{12} + b_{f,c} \cdot h_{f,c} \cdot Y_2^2 =$$

$$= \frac{78,6 \cdot 1^3}{12} + 78,6 \cdot 1 \cdot 9,09^2 + \frac{149 \cdot 0,6^3}{12} + 149 \cdot 0,6 \cdot 8,61^2 = 13130 \text{ см}^4.$$

$$I_w = 4 \cdot (b_w \cdot \frac{h_w}{12} + b_w \cdot h_w \cdot z^2) =$$

$$= 4 \cdot (4,6 \cdot \frac{16,9^3}{12} + 4,6 \cdot 16,9 \cdot 0,14^2) = 7407 \text{ см}^4,$$

здесь $z = y_0 - h_{f,c} - \frac{h_w}{2} = 9,59 - 1,0 - \frac{16,9}{2} = 0,14 \text{ см}$ – расстояние между нейтральной осью сечения плиты и геометрической осью сечения ребер;

$$\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} = \frac{11000 \text{ H / мм}^2}{9000 \text{ H / мм}^2} = 1,22 ;$$

$$I_{ef,inst} = 13130 + 1,22 \cdot 7407 = 22166 \text{ см}^4 .$$

Проверка плиты по предельному состоянию несущей способности

При проверке осевых напряжений в обшивках в соответствие с правилами подраздела 10.3 [1] должны соблюдаться условия

$$\sigma_{f,inst.c,d} \leq f_{f,c,d} ,$$

$$\sigma_{f,inst.t,d} \leq f_{f,t,d} ,$$

где $\sigma_{f,inst.c,d}$ и $\sigma_{f,inst.t,d}$ – средние расчётные значения напряжений сжатия в верхней обшивке и растяжения в нижней обшивке без учета длительности действия нагрузки; $f_{f,c,d}$ и $f_{f,t,d}$ – расчётные значения прочности сжатию верхней и растяжению нижней обшивки.

Определяют средние расчётные значения напряжений в обшивках плиты

$$\sigma_{f,inst.c,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot Y_1 = \frac{1476}{22166} \cdot 9,09 = 0,6 \text{ кН / см}^2 = 6 \text{ Н / мм}^2 ,$$

$$\sigma_{f,inst.t,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot Y_2 = \frac{1476}{22166} \cdot 8,61 = 0,57 \text{ кН / см}^2 = 5,7 \text{ Н / мм}^2 .$$

Расчётные значения прочности фанеры обшивок сжатию и растяжению определяют по формулам (7.7) и (7.3) в [1];

$$f_{f,c,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{f,c,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 26}{1,2} = 17,33 \text{ Н / мм}^2 ,$$

$$f_{f,t,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{f,t,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 36}{1,2} = 24 \text{ Н / мм}^2 ,$$

где $k_{mod} = 0,8$ – частный коэффициент модификации фанеры для класса эксплуатации 1, принимаемый из таблицы 5.4 [1];

$\gamma_M = 1,2$ – частный коэффициент свойств материала для класса эксплуатации 1, принимаемый из таблицы 5.6 [1];

$k_{sys} = 1$ – частный коэффициент системы (п. 5.6.3 [1]);

$f_{f,c,k} = 26 \text{ Н / мм}^2$ – характеристическое значение прочности фанеры F60/10 E90/10 сжатию, принимаемое из таблицы 6.5 [1];

$f_{f,t,k} = 36 \text{ Н / мм}^2$ – характеристическое значение прочности фанеры F60/10 E90/10 растяжению, принимаемое из таблицы 6.5 [1].

В результате расчёта выполняют проверку условий

$$\sigma_{f,inst.c,d} = 6 \text{ Н / мм}^2 < f_{f,c,d} = 17,33 \text{ Н / мм}^2 \text{ – условие выполняется.}$$

$$\sigma_{f,inst.t,d} = 5,7 \text{ Н / мм}^2 < f_{f,t,d} = 24 \text{ Н / мм}^2 \text{ – условие выполняется.}$$

Следовательно, прочность материала обшивок плиты в нормальных сечениях обеспечена.

Проверка напряжений в нормальных сечениях ребер плиты

Согласно правилам подраздела 10.3 [1] нормальные напряжения в сечениях ребер плиты должны удовлетворять следующим условиям

$$\sigma_{w,inst.c,d} \leq f_{w,c,d} ,$$

$$\sigma_{w,inst.t,d} \leq f_{w,t,d} ,$$

где $\sigma_{w,inst.c,d}$ и $\sigma_{w,inst.t,d}$ – расчётные значения напряжения сжатию и растяжению в сечении ребер в месте соединения с обшивкой;

$f_{w,c,d}$ – расчётные значения прочности сжатию материала ребер, рассчитывают по формуле (7.3) [1].

Расчетные значения напряжений в сечениях ребер определяют из выражений

$$\sigma_{w,inst.c,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot (Y_1 - 0,5h_{f,c}) \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) =$$
$$\frac{1476}{22166} \cdot (9,09 - 0,5 \cdot 1) \cdot \left(\frac{11000}{9000} \right) = 0,696 \text{ кН / см}^2 = 6,96 \text{ Н / мм}^2 ,$$

$$\sigma_{w,inst.t,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot (Y_2 - 0,5h_{f,t}) \cdot \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) = \frac{1476}{22166} \cdot (8,61 - 0,5 \cdot 1) \cdot \left(\frac{11000}{9000} \right) =$$
$$0,675 \text{ кН / см}^2 = 6,75 \text{ Н / мм}^2 .$$

Расчётные значения прочности древесины ребер определяют из выражений

$$f_{w,c,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{w,c,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 22}{1,3} = 13,53 \text{ Н / мм}^2 ,$$

$$f_{w,t,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{w,t,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 16}{1,3} = 9,85 \text{ Н / мм}^2$$

где $k_{mod} = 0,8$ – частный коэффициент модификации древесины ребер плиты для класса эксплуатации 1, принимаемый из таблицы 5.4 [1];

$\gamma_M = 1,3$ – частный коэффициент свойств материала, принимаемый из таблицы 5.6 [1];

$k_{sys} = 1$ – частный коэффициент системы (п. 5.6.3 [1]);

$f_{w,c,k} = 22 \text{ Н / мм}^2$ – характеристическое значение прочности древесины на сжатие для класса прочности С27, принимаемое из таблицы 6.2 [1];

$f_{w,t,k} = 16 \text{ Н / мм}^2$ – характеристическое значение прочности древесины на растяжение класс прочности С27, принимаемое из таблицы 6.2 [1].

Проверяют соблюдение условий

$$\sigma_{w,c,inst,d} = 6,96 \text{ Н / мм}^2 < f_{w,c,d} = 13,53 \text{ Н / мм}^2 \text{ – условие выполнено,}$$

$$\sigma_{w,t,inst,d} = 6,75 \text{ Н / мм}^2 < f_{w,t,d} = 9,85 \text{ Н / мм}^2 \text{ – условие выполнено.}$$

Следовательно, предельное состояние несущей способности продольных ребер плиты при их изгибе обеспечивается.

Проверка несущей способности плиты с учетом ползучести ее материалов

Особенностью рассматриваемой ребристой плиты являются разные значения коэффициентов k_{def} ползучести древесины (ребер) и обшивок (фанеры).

Так, для древесины продольных ребер $k_{def} = 0,6$, а для фанерных обшивок $k_{def} = 0,8$ (см. таблица 5.5 в [1]). В результате длительного действия нагрузки будет происходить перераспределение нормальных напряжений: в обшивках они будут уменьшаться, а в ребрах наоборот – увеличиваться. Поэтому необходимо выполнить проверку напряжённого состояния плиты с учётом продолжительности действия нагрузки.

В соответствии с правилами подраздела 10.3 [1] определяют момент инерции сечения плиты относительно нейтральной оси для конечного состояния, используя формулу (10.72) [1].

$$I_{ef,fin} = I_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot \left(\frac{1 + \psi_2 \cdot k_{def,f}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def,w}} \right) \cdot I_w =$$

$$= 13130 + \frac{11000}{9000} \cdot \left(\frac{1 + 1 \cdot 0,8}{1 + 1 \cdot 0,6} \right) \cdot 7407 = 23296 \text{ см}^4,$$

где $\psi_2 = 1$ – коэффициент, значение которого принимают из таблицы 5.3 [1];

$k_{def,f} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий ползучесть фанеры, значение которого принимают из таблицы 5.5 [1];

$k_{def,w} = 0,6$ – коэффициент, учитывающий ползучесть древесины, значение которого принимают из таблицы 5.5 [1].

Определяют положение нейтральной оси относительно верхней грани плиты с учетом ползучести ее материалов и продолжительности действия нагрузки, используя выражение

$$Y_{o,fin} = \frac{S_{ef,fin}}{A_{ef,fin}},$$

здесь

$$S_{ef,fin} = S_f + \left(\frac{E_{w,mean}}{1 + k_{def,w}} : \frac{E_{f,mean}}{1 + k_{def,f}} \right) \cdot S_w = 78,6 \cdot 1 \cdot 0,5 + 149 \cdot 0,6 \cdot (18,5 - 0,3) + \left(\frac{11000}{1 + 0,6} : \frac{9000}{1 + 0,8} \right) \times$$

$$\times 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 \left(\frac{16,9}{2} + 1 \right) = 5706,8 \text{ см}^3,$$

$$A_{ef,fin} = A_f + \left(\frac{E_{w,mean}}{1 + k_{def,w}} : \frac{E_{f,mean}}{1 + k_{def,f}} \right) \cdot A_w =$$

$$= 78,6 \cdot 1 \cdot 0,5 + 149 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{11000}{1 + 0,6} : \frac{9000}{1 + 0,8} \right) \times 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 = 595,6 \text{ см}^2,$$

$$Y_{o,fin} = \frac{5706,8}{595,6} = 9,58 \text{ см},$$

$$Y_{1,fin} = Y_{o,fin} - h_{f,c} / 2 = 9,58 - 0,5 \cdot 1 = 9,08 \text{ см},$$

$$Y_{2,fin} = h_n - Y_{o,fin} - h_{f,t} / 2 = 18,5 - 9,58 - 0,5 \cdot 0,6 = 8,62 \text{ см}.$$

Тогда средние расчётные значения нормальных напряжений в обшивках с учетом ползучести материалов плиты будут составлять

$$\sigma_{f,fin,c,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot Y_{1,fin} = \frac{1476}{23296} \cdot 9,08 = 0,58 \text{ кН / см}^2 = 5,8 \text{ Н / мм}^2 ,$$

$$\sigma_{f,fin,t,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot Y_{2,fin} = \frac{1476}{23296} \cdot 8,62 = 0,55 \text{ кН / см}^2 = 5,5 \text{ Н / мм}^2 .$$

Выполняют проверку условий

$$\sigma_{f,fin,c,d} = 5,8 \text{ Н / мм}^2 < f_{f,c,d} = 17,33 \text{ Н / мм}^2 - \text{условие выполняется.}$$

$$\sigma_{f,fin,t,d} = 5,5 \text{ Н / мм}^2 < f_{f,t,d} = 24,4 \text{ Н / мм}^2 - \text{условие выполняется.}$$

Проверка ребер плиты по предельным состояниям несущей способности с учетом ползучести

Определяют расчетные значения напряжений в ребрах с учетом ползучести и продолжительности действия нагрузки, используя выражения

$$\begin{aligned} \sigma_{w,fin,c,d} &= \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot (y_{1,fin} - 0,5 \cdot h_{f,c}) \cdot \left[\frac{E_{mean,w} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,f})}{E_{mean,f} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,w})} \right] = \\ &= \frac{1476}{23190} \cdot (9,08 - 0,5 \cdot 1) \cdot \left[\frac{11000 \cdot (1 + 0,8)}{9000 \cdot (1 + 0,6)} \right] = 0,81 \text{ кН / см}^2 = 8,1 \text{ Н / мм}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{w,fin,t,d} &= \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot (y_{2,fin} - 0,5 \cdot h_{f,t}) \cdot \left[\frac{E_{mean,w} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,f})}{E_{mean,f} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,w})} \right] = \\ &= \frac{1476}{23190} \cdot (8,62 - 0,5 \cdot 0,6) \cdot \left[\frac{11000 \cdot (1 + 0,8)}{9000 \cdot (1 + 0,6)} \right] = 0,72 \text{ кН / см}^2 = 7,2 \text{ Н / мм}^2; \end{aligned}$$

Выполняют проверку условий

$$\sigma_{w,fin,c,d} = 8,1 \text{ Н / мм}^2 < f_{w,c,d} = 13,53 \text{ Н / мм}^2 - \text{условие выполняется.}$$

$$\sigma_{w,fin,t,d} = 7,2 \text{ Н / мм}^2 < f_{w,t,d} = 9,85 \text{ Н / мм}^2 - \text{условие выполняется.}$$

Проверка клеевых соединений обшивок с продольными ребрами на сдвиг

Проверку клеевых соединений обшивок с продольными ребрами на сдвиг производят по формуле (10.81) [1] при $b_w \leq 8h_t$:

$$f_{v,mean,d} \leq f_{v,90,d} ,$$

где $f_{v,mean,d}$ – среднее значение напряжений сдвига в клеевых соединениях обшивок с ребрами;

$f_{v,90,d}$ – расчетное значение прочности материала обшивок скалыванию.

Среднее значение напряжений сдвига $f_{v,mean,d}$ определяют по формуле (10.83) [1], т. е.

$$f_{v,mean,d} = \frac{V_{E,d} \cdot S_f}{I_{ef} \cdot \sum b_w},$$

где $V_{E,d}$ – расчетное значение усилия сдвига от силовых воздействий;

S_f – статический момент сечения обшивки относительно нейтральной оси (наибольшее значение сечения сжатой или растянутой обшивки);

$\sum b_w$ – суммарная ширина сечения всех ребер.

Статический момент сечения верхней обшивки будет равен:

$$S_f = b_{f,c} \cdot h_{f,c} \cdot y_1 = 78,6 \cdot 1 \cdot 9,09 = 714,47 \text{ см}^3;$$

$$\sum b_w = 4 \cdot 4,6 = 18,4 \text{ см.}$$

Тогда:

$$f_{v,mean,d} = \frac{11,9 \cdot 714,47}{22162 \cdot 18,4} = 0,02 \text{ кН / см}^2 = 0,2 \text{ Н / мм}^2.$$

Расчетное значение прочности фанеры обшивки на скалывание определяют в соответствии с формулой (7.28) [1]

$$f_{v,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 2,5}{1,2} = 1,66 \text{ Н / мм}^2,$$

где $k_{mod} = 0,8$ – частный коэффициент модификации;

$k_{sys} = 1$ – частный коэффициент системы;

$f_{v,90,k} = 2,5 \text{ Н/мм}^2$ – характеристическое значение прочности фанеры F60/10, E90/10 на сдвиг по пласти (таблица 6.5) [1].

Выполняют проверку условия

$$f_{v,mean,d} = 0,2 \text{ Н/мм}^2 < f_{v,90,d} = 1,66 \text{ Н/мм}^2 \text{ – условие выполняется.}$$

Предельное состояние несущей способности плиты на сдвиг по клеевым соединениям обшивки с продольными ребрами обеспечивается.

Проверка верхней обшивки на действие сосредоточенной монтажной нагрузки

При проверке верхней обшивки на действие сосредоточенной монтажной нагрузки предварительно определяют в соответствии с п.10.4.11 [1] расчетное значение

$$F_d = F_k \cdot \gamma_F = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ кН.}$$

Нормальные напряжения изгиба должны удовлетворять условию в соответствии с (10.84) [1]:

$$\sigma_{f,m,d} \leq f_{f,m,d},$$

где $f_{f,m,d}$ – расчетное значение прочности материала обшивки при изгибе.

$$\sigma_{f,m,d} = \frac{M_{E,d}}{W_{f,d}} = \frac{8,737}{16,6} = 0,526 \text{ кН/см}^2 = 5,26 \text{ Н/мм}^2$$

где $M_{E,d} = \frac{F_d \cdot (b_f + b_w)}{8} = \frac{1,5 \cdot (42 + 4,6)}{8} = 8,737 \text{ кН} \cdot \text{см};$

$$W_{f,d} = \frac{b \cdot h_{f,c}^2}{6} = \frac{100 \cdot 1,0^2}{6} = 16,6 \text{ см}^3.$$

Расчетное значение прочности материала обшивки при изгибе определяют из выражения

$$f_{f,m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{f,m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 10}{1,2} = 7,5 \text{ Н/мм}^2,$$

где $k_{\text{mod}} = 0,9$ – частный коэффициент модификации при действии кратковременной нагрузки, значение которого принимают из таблицы 5.4 [1];

$k_{\text{sys}} = 1$ – частный коэффициент системы;

$f_{f,m,k}$ – характеристическое значение прочности фанеры на изгиб поперек волокон, принимают из таблицы 6.5 [1];

$\gamma_M = 1,2$ – частный коэффициент свойств материала, значение которого принимают из таблицы 5.6 [1].

Выполняют проверку условия

$$\sigma_{f,m,d} = 5,26 \text{ Н/мм}^2 < f_{f,m,d} = 7,5 \text{ Н/мм}^2 \text{ – условие выполняется.}$$

Предельное состояние плиты на изгиб верхней обшивки от действия монтажной нагрузки обеспечивается.

Проверка плиты по предельному состоянию эксплуатационной пригодности

Проверку плиты по предельному состоянию эксплуатационной пригодности выполняют на соблюдение условий (8.1) [1], т. е.

$$u_{E,d} \leq u_{C,d},$$

где $u_{E,d}$ – расчетное значение прогиба плиты;

$u_{C,d}$ – предельно допустимое значение прогиба, приведенное в таблице 8.1 в [1].

Расчетное значение прогиба для начального состояния при мгновенном приложении нагрузки определяют из выражения

$$u_{inst,g,q} = u_{inst,g} + u_{inst,q} \frac{5}{384} \cdot \frac{k_{FI} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{f,mean} \cdot I_{ef,inst}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1(0,0151 + 0,0186) \cdot 493^4}{900 \cdot 22162} =$$

$$= 0,582 + 0,717 = 1,3 \text{ см.}$$

Расчетное значение прогиба с учетом ползучести материалов плиты при постоянной нагрузке определяют из выражения

$$u_{fin,g} = u_{inst,g} \cdot (1 + k_{def,f}) = 0,582 \cdot (1 + 0,8) = 1,053 \text{ см.}$$

Расчетное значение прогиба с учетом ползучести материалов плиты от действия снеговой нагрузки определяют из выражения

$$u_{fin,q} = u_{inst,q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,f}) = 0,717 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 0,717 \text{ см},$$

где $k_{def,f} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий ползучесть фанеры, значение которого принимают из таблицы 5.5 в [1];

$\psi_2 = 0$ – коэффициент для практически постоянного воздействия (снеговой нагрузки).

Определяют полное значение прогиба плиты

$$u_{E,d} = u_{fin,g} + u_{fin,q} = 1,053 + 0,717 = 1,77 \text{ см}.$$

Проверяют условие

$$u_{E,d} = 1,77 \text{ см} < \frac{1}{200} \cdot l_d = \frac{1}{200} \cdot 493 = 2,46 \text{ см} \quad \text{– условие выполняется.}$$

Таким образом, сконструированная плита удовлетворяет требованиям предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Параметры изделий из древесины и некоторых плитных материалов на ее основе

Таблица А.1 – Рекомендуемый сортамент пиломатериалов по [7]

Толщина (высота), мм	Ширина			
	100	125	150	175
19	100	125	150	—
25	100	125	150	175
40	100	125	150	—
50	100	125	150	175
100	—	125	150	175
150	—	125	150	175
175	—	125	—	175

Примечания
 1 Размеры фрезерованных пиломатериалов устанавливаются с учетом допусков по толщине и ширине, согласно действующим стандартам.
 2 Для изготовления деревянных клееных элементов может быть использован другой сортамент пиломатериалов.

Таблица А.2 – Размеры ДСП

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

Таблица А.3 – Размеры ЦСП и их допустимые отклонения

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (рекомендуемое)

Некоторые характеристики свойств древесины и материалов на ее основе

Таблица Б.1 – Прочностные и упругие характеристики пиломатериалов, их плотность и удельный вес по [8] и [3]

Наименование показателя	Значение показателя для																	
	древесины хвойных пород класса												древесины лиственных пород класса					
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Показатели прочности, Н/мм²																		
Изгиб $f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Растяжение вдоль волокон f_{0k}	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Растяжение поперек волокон f_{90k}	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Сжатие вдоль волокон f_{0k}	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Сжатие поперек волокон f_{90k}	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Сдвиг $f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Упругие характеристики, кН/мм²																		
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон E_{0mean}	7	8	9	9,5	10	11	11	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Среднее значение модуля упругости поперек волокон E_{90mean}	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Среднее значение модуля сдвига G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Показатель плотности, кг/м³																		
Плотность ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Среднее значение плотности ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
Удельный вес, кН/м³																		
Удельный вес γ	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,5	6,4	6,7	7,0	7,8	8,4	10,8
<i>Примечания</i>																		
1 Табличные значения распространяются на древесину с влажностью при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 %.																		
2 Характеристические значения модуля сдвига $G_{0,05} = 0,8G_{mean}$.																		

Таблица Б.2 – Прочностные и упругие характеристики фанеры, ее плотность и удельный вес по [9], [3]

Наименование характеристики	Тип фанеры										
	F20/10 E40/20		F20/15 E30/15		F40/30 E60/40		F50/25 E70/25		F60/10 E90/10		
	Вдоль волокон	Поперек волокон									
По пласти											
Изгиб $f_{m,k}$, Н/мм ²	20	10	20	15	40	30	50	25	60	10	
Сжатие $f_{c90,k}$, Н/мм ²	4				9			10			
Сдвиг $f_{v,k}$, Н/мм ²	0,9	0,6	1	0,7	2,2			2,5			
Модуль упругости E_{mean} , Н/мм ²	4000	2000	3000	2500	6000	4000	7000	2500	9000	1000	
Модуль сдвига G_{mean} , Н/мм ²	35	25	35	25	150			200			
По грани											
Изгиб $f_{m,k}$, Н/мм ²	9	7	8	7	29	31	36	24	36	24	
Растяжение $f_{t,k}$, Н/мм ²	9	7	8	7	29	31	36	24	36	24	
Сжатие $f_{c0,k}$, Н/мм ²	15	10	13	13	21	22	36	17	26	18	
Сдвиг $f_{v,k}$, Н/мм ²	3,5		4,0		9,5			11,0			
Модуль упругости E_{mean} , Н/мм ²	4000	3000	4000	3000	4400	4700	5500	3650	5500	3700	
Модуль сдвига G_{mean} , Н/мм ²	350				600			700			
Плотность ρ_k , кг/м ³	350				600						
Удельный вес, кН/м³											
Удельный вес γ	5,0				7,0						
<i>Примечание</i> — Характеристические значения модуля упругости $E_{0,05}$ и модуля сдвига $G_{0,05}$ определяют: $E_{0,05} = 0,8E_{mean}$, $G_{0,05} = 0,8G_{mean}$.											

Таблица Б.3 – Прочностные и упругие характеристики ОСП, их плотности и удельный вес

Наименование характеристики	Тип плиты	Номинальная толщина, мм			
		От 6 до 10	От 10 до 18	От 18 до 25	
По пласти					
Прочность при изгибе (основная ось) $f_{m,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	18,0	16,4	14,8	
	ОСП/4	24,5	23,0	21,0	
Прочность при изгибе (второстепенная ось) $f_{m,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	9,0	8,2	7,4	
	ОСП/4	13,0	12,2	11,4	
Прочность при сжатии $f_{c90,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	10			
	ОСП/4	10			
Прочность при сдвиге $f_{v,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	1			
	ОСП/4	1,1			
Модуль упругости (основная ось) E_{mean} , Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	4930			
	ОСП/4	6780			
Модуль упругости (второстепенная ось) E_{mean} , Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	1980			
	ОСП/4	2680			
Модуль сдвига G_{mean} , Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	50			
	ОСП/4	60			
По грани					
Изгиб (основная ось) $f_{m,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	9,9	9,4	9,0	
	ОСП/4	11,9	11,4	10,9	
Прочность при изгибе (второстепенная ось) $f_{m,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	7,2	7,0	6,8	
	ОСП/4	8,5	8,2	8,0	
Прочность при растяжении (основная ось) $f_{t,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	9,9	9,4	9,0	
	ОСП/4	11,9	11,4	10,9	
Прочность при растяжении (второстепенная ось) $f_{t,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	7,2	7,0	6,8	
	ОСП/4	8,5	8,2	8,0	
Прочность при сжатии $f_{c90,k}$, Н/мм ² :	основная ось	ОСП/2, ОСП/3	15,9	15,4	14,8
		ОСП/4	18,1	17,6	17,0
	второстепенная ось	ОСП/2, ОСП/3	12,9	12,9	12,4
		ОСП/4	14,3	14,0	13,7
Прочность при сдвиге $f_{v,k}$, Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	6,8			
	ОСП/4	6,9			
Модуль упругости при изгибе (основная ось) E_{mean} , Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	3800			
	ОСП/4	4300			
Модуль упругости при изгибе (второстепенная ось) E_{mean} , Н/мм ²	ОСП/2, ОСП/3	3000			
	ОСП/4	3200			
Модуль сдвига при изгибе G_{mean} , Н/мм ²	ОСП/3, ОСП/4	1080			
		1090			
Плотность ρ_k , кг/м ³	ОСП/2, ОСП/3, ОСП/4	550			
Удельный вес γ , кН/м ³		7,0			

Таблица Б.4 — Прочностные и упругие характеристики ЦСП, их плотность и удельный вес

Наименование показателя	Толщина плит от 8 до 40 мм
По пласти	
Изгиб $f_{m,k}$, Н/мм ²	9
Сжатие f_{c90k} , Н/мм ²	12
Сдвиг $f_{v,k}$, Н/мм ²	2
Модуль упругости E_{mean} , Н/мм ²	Класс 1: 4500
	Класс 2: 4000
По грани	
Изгиб $f_{m,k}$, Н/мм ²	8
Растяжение $f_{t,k}$, Н/мм ²	2,5
Сжатие f_{c90k} , Н/мм ²	11,5
Сдвиг $f_{v,k}$, Н/мм ²	6,5
Модуль упругости E_{mean} , Н/мм ²	4500
Модуль сдвига G_{mean} , Н/мм ²	1500
Характеристическое значение плотности ρ_k , кг/м ³	1000
Удельный вес γ , кН/м ³	12,0

Список использованных источников

1. Деревянные конструкции (СП 5.05.01-2021): Минстройархитектуры, Минск, – 2021, введены 01.06.2021, – 115 с.
2. Основы проектирования строительных конструкций (СН 2.01.01-2019): Минстройархитектуры, Минск, – 2020, введены 08.09. 2020, – 90 с.
3. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий (СН 2.01.02-2019): Минстройархитектуры, Минск, – 2020, введен 08.09. 2020, – 41 с.
4. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки (СН 2.01.04-2019): Минстройархитектуры, Минск, – 2020, введены 08.09. 2020, – 43 с.
5. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия (СН 2.01.05-2019):
6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-6. Общие воздействия. Воздействия при производстве строительных работ (ТКП EN 1991-1-6-2009 (02250)): Минстройархитектуры, Минск, – 2009: введен 10.12. 2009 – 32 С.
7. Древесина многослойная клееная. Размеры. Допустимые отклонения (СТБ EN 390-2011):Госстандарт, Минск,– 2011, введен 01.01.2012. – 7 С.
8. Древесина конструкционная. Классы прочности (СТБ EN 338-2011): Госстандарт, Минск,– 2011, введен 28.10.09 2011. – 11 С.
9. Фанера. Требования (СТБ EN 636-2004): Госстандарт, Минск,– 2014, введен 01.07.2005 – 16 с.

Учебное издание

Авторы:

*Найчук Анатолий Яковлевич
Захаркевич Иван Филиппович*

Ограждающие конструкции покрытий из древесины и плитных материалов на ее основе

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»

*для студентов специальности 1–70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной формы обучения*

Ответственный за выпуск: Найчук А. Я.
Редактор: Митлошук М. А.
Компьютерная вёрстка: Соколюк А. П.
Корректор: Дударук С. А.

ISBN 978-985-493-532-4



Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569
от 16.10.2017 г. Подписано в печать 14.10.2021 г.

Гарнитура «Arial». Формат 60×84 ¹/₁₆.

Бумага «Performer». Уч. изд. л. 4,25. Усл. печ. л. 3,95.

Заказ № 1138. Тираж 21 экз. Отпечатано на ризографе

Учреждения образования «Брестский

государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.