

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

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

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Рамы из древесины и 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 2022

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

*Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере высшего образования Республики Беларусь по образования в области строительства и архитектуры в качестве учебно-методического пособия по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» высшего образования I ступени.
Протокол №2 от 04 октября 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 **Рамы из древесины и материалов на ее основе /** А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич, А. Б. Шурин; под ред. А. Я. Найчука, И. Ф. Захаркевича, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2022. – 68 с.

ISBN 978-985-493-550-8

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

Пособие предназначено для использования студентами при выполнении курсового или дипломного проекта по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс», а также специалистами, занимающимися проектированием деревянных конструкций.

УДК 624.011/.014(035)
ББК 38.5 я 2

ISBN 978-985-493-550-8

© Коллектив авторов, 2022
© Издательство БрГТУ, 2022

Оглавление

Введение	4
Термины и определения	5
Обозначения	7
1 Типы деревянных рам и область их применения	11
1.1 Общие сведения	11
1.2 Классификация рам	11
2 Общие рекомендации по конструированию и расчету деревянных рам	19
2.1 Разработка и компоновка геометрической формы рамы	20
2.2 Конструирование покрытий по рамам	21
2.3 Определение нагрузок.....	22
2.4 Определение прочностных и упругих характеристик материала элементов рамы	25
2.5 Определение внутренних усилий в сечениях элементов рамы	25
2.6 Проверка предельных состояний несущей способности элементов рамы	27
3 Пример конструирования и расчета дощатоклееной трехшарнирной рамы пролетом 30 м	31
3.1 Исходные данные.....	31
3.2 Предварительное определение геометрических параметров рамы.....	32
3.3 Определение характеристик материалов рамы	35
3.4 Определение нагрузок.....	35
3.5 Определение значений частных коэффициентов	36
3.6 Определение расчетных значений нагрузок и комбинаций нагружения.....	36
3.7 Статический расчет рамы.....	36
3.8 Проверка предельных состояний несущей способности рамы	41
3.9 Конструирование и расчет узлов рамы	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	62
Список использованных источников	65

Введение

Целью данного учебно-методического пособия (далее пособие) является закрепления у студентов теоретических знаний, полученных в процессе изучения курса по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» и приобретения практических навыков проектирования деревянных рам строительных сооружений в соответствии с требованиями технических нормативно-правовых актов (ТНПА) Республики Беларусь.

Данное пособие является методическим документом, направленным на краткое и исчерпывающее изложение положений ТНПА, которыми необходимо руководствоваться при проектировании рам изготовленных из пиломатериалов, дощатоклееной древесины, клееной древесины из шпона (LVL) и фанеры.

В пособии приводятся рекомендации по конструированию и расчету опорных, коньковых и карнизных узлов трехшарнирных рам, получивших широкое распространение при строительстве различных зданий и сооружений, а также перспективных решений, прошедших экспериментальную проверку в строительстве. Данное пособие может быть использовано не только студентами, но и специалистами проектных организаций при проектировании строительных сооружений, где в качестве несущих конструкций покрытий используются трехшарнирные рамы, изготовленные из древесины и материалов на ее основе.

В настоящем пособии приведены: классификация и область применения деревянных трехшарнирных рам; определение значений нагрузок и правила сочетаний расчетных значений усилий, возникающих в элементах рам от воздействий; методика определения расчетных значений прочностных и упругих характеристик материалов, используемых при изготовлении рам; рекомендации по конструированию и расчету опорных, коньковых и карнизных узлов. Приведен пример по конструированию и расчету деревянной трехшарнирной рамы.

Разработанное пособие по проектированию деревянных рам строительных сооружений базируется на положениях и правилах, изложенных в СП 5.05.01 «Деревянные конструкции», СН 2.01.01 «Основы проектирования строительных конструкций», СН 2.01.02 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий», СН 2.01.04 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки», СН 2.01.05 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия», СН 2.01.07 «Защита строительных конструкций от коррозии», СН 2.01.06 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия», СП 5.04.01 «Стальные конструкции», а также личном опыте авторов данного пособия, приобретенном при проектировании и исследовании данных конструкций. Следует отметить, что использование других ТНПА и пособий, изданных до 2018 г при разработке конструкций рам, следует рассматривать в качестве информационного материала.

Пособие состоит из введения, терминов и определений, обозначений, двух разделов, приложения и списка используемых источников.

В первом разделе приведены общие сведения о деревянных рамах, дана их классификация в зависимости от формы очертания, поперечного сечения, статической схемы, применяемых материалов, а также область их применения.

Во втором разделе изложены основные рекомендации по определению расчетных значений прочностных и упругих характеристик, применяемых материалов, расчетных значений нагрузок и их сочетаниям, схемам нагружения рам. Приведены рекомендации по конструированию и расчету рам, опорных, коньковых и карнизных узлов, а также даны некоторые разъяснения ряда положений и правил ТНПА по проектированию трехшарнирных рам.

В третьем разделе приведен пример по конструированию и расчету большепролетной дощатоклееной трехшарнирной рамы, в котором разъясняются правила выполнения проверок предельных состояний несущей способности элементов рамы, опорного, карнизного и конькового узлов.

В приложениях приведены значения коэффициентов свойств материалов и модификации, а также прочностных, упругих характеристик и удельного веса пиломатериалов, дощатоклееной древесины и фанеры.

Термины и определения

В настоящем пособии применяются следующие термины и определения:

рама: плоская или пространственная стержневая система, элементы которой (стойки, ригели) жестко соединены между собой во всех или некоторых узлах;

распор: горизонтальная составляющая опорной реакции рамы;

конек: верхнее горизонтальное ребро крыши, образующее водораздел;

узел: область сопряжения двух или более элементов конструкции;

узел конструкции: соединение разнородных элементов конструкции (каркаса), обладающее заданной несущей способностью и жесткостью;

узел рамы опорный: узел рамы, устанавливаемый на опору;

пята рамы: опорный узел рамы;

узел рамы коньковый: узел в вершине (коньке) рамы;

соединение: подвижное или неподвижное скрепление деталей или элементов для укрупнения или образования из них конструкций, узлов;

ось рамы: линия, проходящая через центры тяжести поперечных сечений рамы;

строительные сооружения: все, что построено или является результатом строительных работ [6];

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) [6];

эффект воздействия E: результат воздействия(-ий) на элементы конструкции (например, внутреннее усилие, момент, напряжение, деформация) или на конструкцию в целом (например, прогиб, поворот) [6];

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 [6];

переменное воздействие Q: воздействие, для которого отклонения во времени от среднего значения значительны и не являются монотонными [6];

характеристическое значение воздействия F_k : Основное репрезентативное значение воздействия [6];

расчетное значение воздействия F_d : значение, полученное в результате умножения репрезентативного значения на частный коэффициент γ_f [6];

сочетание воздействий: совокупность расчетных значений, используемых при проверке надежности конструкции, когда в рассматриваемом предельном состоянии различные воздействия действуют одновременно [6];

характеристическое значение снеговой нагрузки: снеговая нагрузка на грунт, определенная с годовой вероятностью превышения 0,02, за исключением чрезвычайных снеговых нагрузок [6];

характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (кровлю): Характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт, умноженное на соответствующие коэффициенты [8];

характеристическое значение плотности древесины: 5 %-ный квантиль генеральной совокупности образцов с массой и объемом, соответствующими температуре 20 °C и относительной влажности воздуха 65 % [12];

характеристическое значение прочности древесины: 5 %-ный квантиль генеральной совокупности, полученный по результатам испытаний образцов продолжительностью 300 с с равновесным влагосодержанием при температуре 20 °C и относительной влажности воздуха 65 % [12];

генеральная совокупность пород древесины: пиломатериалы идентифицируемого происхождения из одной породы или комбинаций пород древесины, сортированные по прочности, и относящиеся к готовой продукции [12];

характеристическое значение прочности при изгибе многослойной клееной древесины: прочность, отнесенная к высоте поперечного сечения 600 мм [12];

характеристическое значение прочности при растяжении многослойной клееной древесины: прочность вдоль волокон, отнесенная к ширине поперечного сечения 600 мм [13];

характеристическое значение прочности при сжатии многослойной клееной древесины: прочность в направлении волокон [12].

характеристическое значение прочности при сдвиге многослойной клееной древесины: прочность равномерно нагружаемого испытываемого образца объемом 0,0005 м³ [10];

класс: классификационная характеристика, применяемая при сортировке или определении прочности пиломатериалов [13];

класс прочности: результат классификации пиломатериалов на основе определенных значений механических характеристик и плотности [13];

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 [8];

температурный коэффициент: коэффициент, определяющий уменьшение снеговой нагрузки на покрытии в зависимости от теплового потока через покрытие, вызывающего таяние снега [8];

коэффициент окружающей среды: коэффициент, определяющий уменьшение или увеличение нагрузки на покрытие неотапливаемого здания как части характеристической снеговой нагрузки на грунт [8];

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

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;

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 обрезного пиломатериала, а также любая из обзолных продольных поверхностей необрезного пиломатериала;

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 возможно ширине заготовок.

Обозначения

В настоящем пособии применяются следующие обозначения:

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;
$E_{0,05}$	– 5 %-ый квантиль модуля упругости древесины;
E_{0mean}	– среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон;
F	– воздействие;
F_d	– расчетное значение воздействия;
F_k	– характеристическое значение воздействия;
F_w	– ветровое воздействие (общее обозначение);
$F_{w,k}$	– характеристическое значение ветрового воздействия;
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;
H	– высота стойки рамы; распор;
I	– значение момента инерции поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;
$I_{y,d}$	– расчетные значения моментов инерции поперечного сечения элемента относительно оси Y ;
$I_{z,d}$	– расчетные значения моментов инерции поперечного сечения элемента относительно оси Z ;
M	– изгибающий момент;
$M_{E,d}$	– расчетное значение изгибающего момента;
$M_{E,d,max}$	– максимальные расчетные значения изгибающего момента;
$M_{E,dI}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения I;
$M_{E,dII}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения II;
$M_{E,dIII}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения III;
$M_{E,dIV}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения IV;
$M_{E,dV}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения V;
$M_{E,dVI}$	– расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения VI;
$M_{y,E,d}$	– расчетные значения изгибающего момента в сечении элемента, если изгиб происходит относительно оси y ;
$M_{E,dI,i}$	– расчетные значения изгибающего момента в i -том сечении элемента;
$M_{z,E,d}$	– расчетные значения изгибающего момента в сечении элемента, если изгиб происходит относительно оси z ;
N	– продольное усилие;
$N_{E,di}$	– продольное усилие для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;
Q	– временное воздействие;
Q_d	– расчетное значение временного воздействия;
Q_k	– характеристическое значение отдельного временного воздействия;
$Q_{k,i}$	– характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия i ;
Q_{k1}	– характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;
R	– сопротивление; несущая способность; опорная реакция;
R_d	– расчетное значение сопротивления; несущей способности, опорной реакции;

R_{dl}	– расчетное значение опорной реакции при комбинации нагружения I;
R_{dII}	– расчетное значение опорной реакции при комбинации нагружения II;
$R_{dl,A}$	– расчетное значение реакции в опорном узле A рамы при комбинации нагружения I;
$R_{dl,B}$	– расчетное значение реакции в опорном узле B рамы при комбинации нагружения I;
$R_{dII,A}$	– расчетное значение реакции в опорном узле A рамы при комбинации нагружения II;
$R_{dII,B}$	– расчетное значение реакции в опорном узле B рамы при комбинации нагружения II;
S	– статический момент сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси; длина дуги рамы;
S_0	– длина дуги криволинейного участка рамы;
S_1	– длина прямолинейного участка стойки рамы;
S_2	– длина прямолинейного участка ригеля рамы;
V_E	– усилие сдвига;
$V_{E,d}$	– расчетное значение усилия сдвига (поперечной силы);
$V_{d,i}$	– расчетное значение усилия сдвига в i -том сечении рамы;
W_d	– расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента;
$W_{y,d}$	– расчётное значение момента сопротивления сечения обрешётки относительно оси Y;
$W_{z,d}$	– расчётное значение момента сопротивления сечения обрешётки относительно оси Z;
X_i	– координата i -той точки на геометрической оси рамы в направлении оси X;
Y_i	– координата i -той точки на геометрической оси рамы в направлении оси Y;
$\prod_1^n k_j$	– произведение частных коэффициентов k_j , учитывающих геометрические параметры элемента конструкции, вид напряженного состояния и распределение напряжений в сечении элемента;
a	– расстояние;
b	– ширина поперечного сечения элемента;
d	– диаметр крепежного элемента (болта, винта, гвоздя и т.п.);
f	– стрела подъема рамы; прочность материала;
f_1	– высота подъема ригеля рамы;
f_k	– характеристическое значение прочности материала;
f_d	– расчетное значение прочности материала;
$f_{m,d}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе;
$f_{m,k}$	– характеристическое значение прочности древесины при изгибе;
$f_{m,dI}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения I;
$f_{m,dII}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения II;
$f_{m,d,y}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе относительно оси y;
$f_{m,d,z}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе относительно оси z;
$f_{c,0,d}$	– расчётное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон;
$f_{c,0,k}$	– характеристическое значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон;
$f_{c,90,d}$	– расчётное значение прочности древесины при сжатии поперек волокон;
$f_{c,90,k}$	– характеристическое значение прочности древесины при сжатии поперек волокон;

$f_{t,0,d}$	– расчётное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон;
$f_{t,0,k}$	– характеристическое значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон;
$f_{v,d}$	– расчётное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
$f_{v,k}$	– характеристическое значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
$f_{m,g,d}$	– расчетное значение прочности клееной массивной древесины при изгибе;
$f_{m,g,k}$	– характеристическое значение прочности клееной массивной древесины при изгибе;
$f_{c,0,g,d}$	– расчетное значение прочности клееной массивной древесины при сжатии вдоль волокон;
$f_{c,0,g,k}$	– характеристическое значение прочности клееной массивной древесины при сжатии вдоль волокон;
$f_{c,90,g,d}$	– расчетное значение прочности клееной массивной древесины при сжатии поперек волокон;
$f_{c,90,g,k}$	– характеристическое значение прочности клееной массивной древесины при сжатии поперек волокон;
$f_{t,0,g,d}$	– расчетное значение прочности клееной массивной древесины при растяжении вдоль волокон;
$f_{t,0,g,k}$	– характеристическое значение прочности клееной массивной древесины при растяжении вдоль волокон;
$f_{t,90,g,d}$	– расчетное значение прочности клееной массивной древесины при растяжении поперек волокон;
$f_{t,90,g,k}$	– характеристическое значение прочности клееной массивной древесины при растяжении поперек волокон;
$f_{v,g,d}$	– расчётное значение прочности клееной массивной древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
$f_{v,g,k}$	– характеристическое значение прочности клееной массивной древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
$f_{m,y,di}$	– расчетное значение прочности древесины элемента при изгибе для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;
$f_{c,y,di}$	– расчетное значение прочности древесины элемента при сжатии для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;
g_k	– характеристическое значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины конструкции;
g_d	– расчетное значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины конструкции;
h	– высота поперечного сечения элемента;
h_f	– высота поперечного сечения (длина опорной площадки) в опорном узле рамы;
h_n	– высота поперечного сечения в коньковом узле рамы;
h_r	– высота поперечного сечения, проходящего по биссектрисе карнизного узла полурамы;
k_{def}	– коэффициент ползучести материала;
k_m	– коэффициент, учитывающий распределение нормальных напряжений по высоте сечения элемента при его изгибе;
k_{mod}	– коэффициент модификации;
$k_{mod,dl}$	– коэффициент модификации для комбинации нагружения I;
$k_{mod,dll}$	– 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_r	– коэффициент, учитывающий наличие внутренних технологических напряжений, возникающих в сечении при придании элементу криволинейного очертания;
k_{FI}	– коэффициент, значение которого зависит от класса последствий;
$k_{c,y}$	– коэффициент продольного изгиба относительно оси y ;
l	– пролет рамы;
l_d	– расчетное значение пролета;
l_{ef}	– расчетное значение длины полурамы в ее плоскости;
$l_{0,z}$	– расчетное значение длины участка рамы при изгибе относительно оси z ;
q_k	– характеристическое значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины конструкции;
q_d	– расчетное значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины элемента конструкции;
r_0	– радиус кривизны криволинейного участка полурамы;
r_{in}	– радиус кривизны внутренней грани криволинейного участка рамы;
t	– толщина доски;
$u_{c,d}$	– предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
$u_{E,d}$	– расчетное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
u_{inst}	– предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
u_{creep}	– значение прогиба от ползучести древесины при длительном действии нагрузок;
α	– угол;
β	– угол наклона оси ригеля; частный коэффициент;
β_i	– угол наклона касательной в точке i к горизонту;
θ	– угол между вертикальной осью и линией скоса в коньковом узле рамы;
γ_M	– частный коэффициент свойств материала или изделия;
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	– объемный вес материала;
μ_1	– коэффициент формы снеговых нагрузок;
σ_{m,y,d_i}	– расчетные значения нормальных напряжений в рассматриваемом сечении элемента от изгиба относительно оси Y для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;
$\sigma_{c,0,d_i}$	– расчетные значения нормальных напряжений сжатия в рассматриваемом сечении элемента при сжатии вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;
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 Типы деревянных рам и область их применения

1.1 Общие сведения

1.1.1 Трехшарнирные рамы – плоские распорные конструкции, в которых действие вертикальных нагрузок вызывает появление вертикальных и горизонтальных реакций в опорах. Горизонтальные составляющие опорных реакций в рамах называют распором, который должен учитываться при проектировании фундаментов или опорных участков элементов зданий.

1.1.2 Использование рам в качестве основных несущих конструкций покрытий зданий, позволяет перекрывать относительно большие пролеты без использования промежуточных опор.

1.1.3 Рамы используют в качестве элементов несущих каркасов таких строительных сооружений, как покрытия ангаров, выставочных павильонов, манежей, зданий многофункционального назначения и т. п. [1 – 4].

1.1.4 Проектируют рамы преимущественно из прямолинейных элементов с наличием жестких (рамных) узлов. Жесткие узлы трехшарнирных рам называют карнизными. Данные узлы обеспечивают совместную работу ригеля и стойки. Не рекомендуется выполнять соединения ригеля и стойки под большими углами.

В зависимости от конструктивного решения карнизного узла, величины воздействий и угла наклона ригеля перекрываемые рамами пролеты могут составлять от 12 м до 70 м. Шаг расстановки рам принимают от 3 м до 6 м, а угол β наклона верхней грани ригеля рекомендуется принимать от 14° до 18° . При соответствующем обосновании угол β может приниматься более 18° .

1.1.5 Стойки и ригели рам рекомендуется проектировать с переменной высотой h и постоянной шириной b поперечных сечений. Для большинства типов рам основные конструктивные размеры рекомендуется принимать: высоту поперечных сечений в карнизном узле $h_r = (1/20 \div 1/30)$ от длины l пролета; высоту поперечных сечений в коньковом узле – $h_n = (0,2 \div 0,3)h_r$; высоту поперечных сечений в опорных узлах стоек $h_f = 0,4h_r$. В карнизных узлах рамы отношение высоты поперечного сечения к ширине принимают в пределах $h_r/b = 4 \div 8$. Рекомендованные конструктивные размеры в основном относятся к сплошным трехшарнирным рамам.

1.1.6 Исходя из технологических возможностей изготовления, а также архитектурных требований зданий, рамам могут придаваться различные очертания [1 – 5]. При выборе формы рамы необходимо учитывать требуемые габариты и функциональное назначение проектируемого здания, условия эксплуатации, величины воздействий.

1.2 Классификация рам

1.2.1 В зависимости от технологии изготовления и применяемых материалов, используемые в современной строительной практике рамы подразделяют на следующие группы:

- дощатоклееные и из клееного шпона (LVL) из прямолинейных элементов;
- дощатоклееные с криволинейными участками в карнизном узле;
- дощато-фанерные.

1.2.2 Рамы из древесины и материалов на ее основе применяют в зданиях различного назначения с утепленными или неутепленными ограждающими конструкциями (плиты, настилы по прогонам из досок или таких плитных материалов как ОСП, ДСП, ЦСП), с рулонными, асбестоцементными или стальными кровлями [1,2].

1.2.3 Однопролетные трехшарнирные деревянные рамы, в которых ригели и стойки имеют прямоугольные поперечные сечения переменной высоты по длине, бывают следующих типов:

а) дощатоклееные из прямолинейных элементов с соединением ригеля и стойки в карнизном узле с помощью гнутоклееной или трапецевидной вставки на зубчатом шипу (рис. 1.1 б);

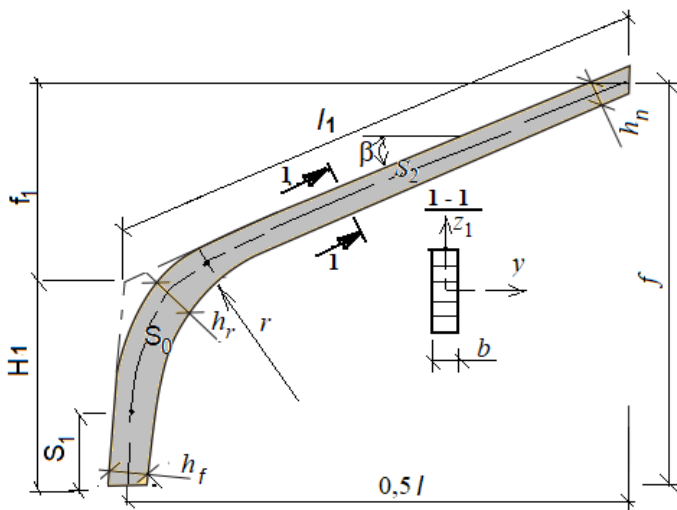
б) гнутые дощатоклееные и дощато-фанерные рамы (рис. 1.1а);

в) дощатоклееные и клееного шпона (LVL) из ригелей и подкосов, упирающихся в фундамент, с помощью которых образуется рамный карнизный узел (рис. 1.1 в);

г) дощатоклееные и из клееного шпона (LVL) с соединением ригеля и стойки в карнизном узле сжатым раскосом и стяжным тяжом;

д) дощатоклееные из ригелей и стоек, соединяемых в карнизном узле посредством вклеенных стальных стержней, соединенных со стальными пластинами в растянутой зоне (рис. 1.1 г).

Рамы типов «а» и «б» собираются из целых полурам заводского изготовления. Рамы типов «в» и «г» поставляются заводами в виде линейных элементов (ригелей, стоек, раскосов и подкосов) и собираются в полурамы или целые рамы на месте строительства. Рамы могут иметь консоли (свесы). При большой длине консоли для них устанавливают подкосы.



$$h_r = (1/20 \div 1/30)l;$$

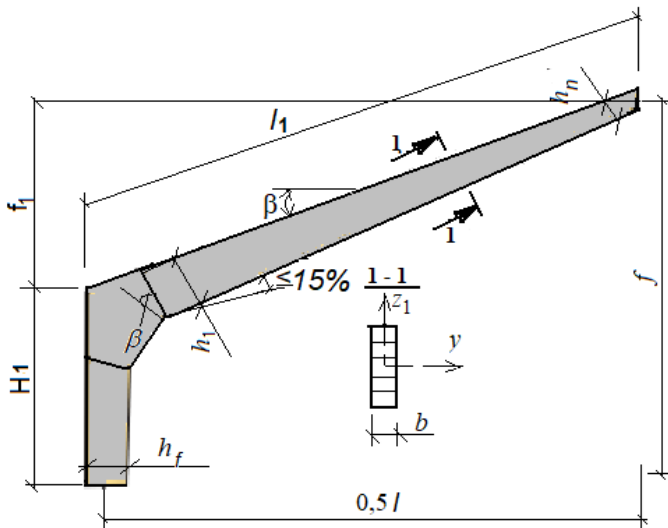
$$\beta \geq 14^\circ;$$

$$h_f = 0,4h_r;$$

$$h_n = \min \begin{cases} 0,3h_r \\ 250 \text{ мм} \end{cases};$$

$$b/h_r = (4 \div 8)$$

а)

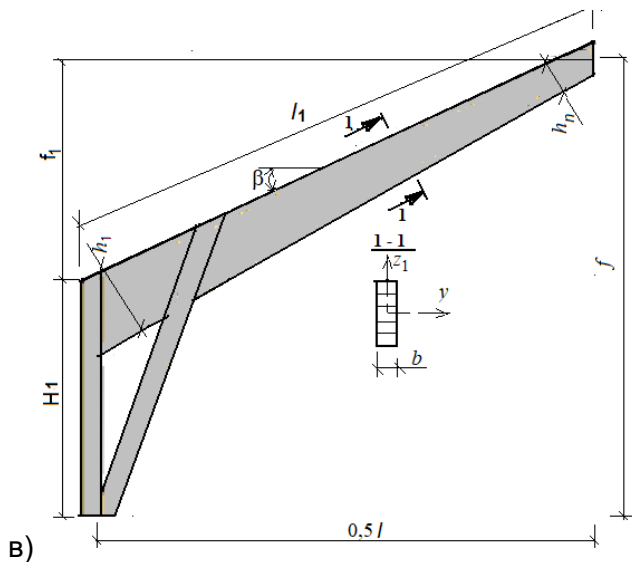


$$h_1 = (1/20 \div 1/30)l;$$

$$\beta \geq 14^\circ.$$

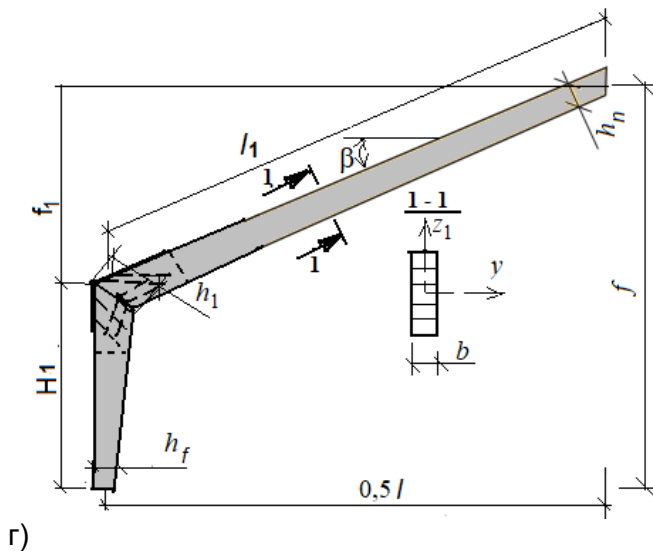
б)

Окончание рисунка 1.1.



$$h_1 = (H_1 + l_1)/15;$$

$$\beta \geq 14^\circ.$$



$$h_1 = (H_1 + l_1)/14;$$

$$\beta \geq 14^\circ.$$

а) – гнутоклееная; б) – из прямолинейных элементов с соединением ригеля и стойки в карнизном узле посредством трапецевидной вставки на зубчатом шипу;
 в) – из ригеля, стойки и подкосов, упирающихся в фундамент;
 г) – из прямолинейных элементов с соединением ригеля и стойки в карнизном узле посредством клеенных стержней и стальных пластин
Рисунок 1.1 – Схемы трехшарнирных деревянных полурам

1.2.5 Рекомендуемые геометрические размеры определяются: для рам типов «а» и «б» из условий перевозки (высота стоек 2,6 – 4,5 м); для рам типов «в» и «г» высота H_1 стоек не ограничивается, а пролеты l принимаются равными 12 ÷ 30 м. В двухконсольных рамах с большим вылетом консоли допускается увеличивать пролет.

1.2.6 Прямолинейные ригели и стойки переменной высоты сечения, убывающей по длине от карнизного узла к коньку и опоре рамы, изготавливают путем распиловки склеенных прямолинейных пакетов постоянной высоты. Уклон внутренней кромки относительно наружной принимают не более 15 %.

1.2.7 Все прямолинейные элементы рам из дощатоклееной древесины изготавливают из досок толщиной не более 40 мм, а гнутоклееные и криволинейные вставки (гнутоклееные и трапецевидные) – из слоев толщиной t не более $1/150$ радиуса r кривизны.

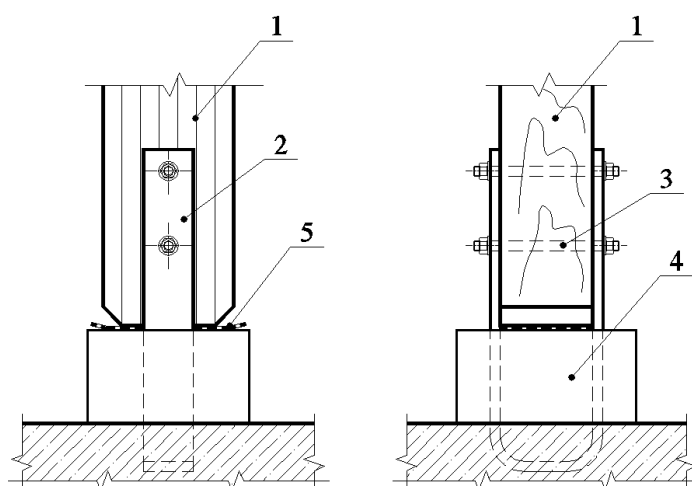
1.2.8 Все элементы, включая стойки и подкосы рам типа «в», выполняются из клееной древесины или LVL. Ригель в рамах типа «в» может быть продолжен наружу для образования свеса. При большом вылете свеса устанавливают дополнительный внешний подкос, поддерживающий консоль.

1.3 Конструктивные решения опорных узлов рам

1.3.1 Узлы соединения стоек рам с опорами (фундаментами) должны быть конструированы таким образом, чтобы в стойках не возникало:

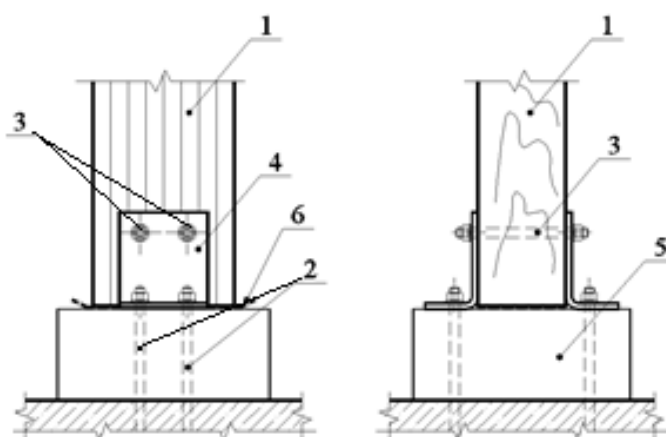
- эксцентриситетов от опорных реакций;
- концентрации напряжений в древесине опорных участков;
- конденсационного увлажнения древесины.

1.3.2 При пролетах рам до 21 м соединение стоек с опорой, для всех типов рам, выполняют непосредственным (лобовым) упором поверхности поперечного сечения, центрированного по оси стойки, и опоры с использованием стальных элементов заанкеренных в фундаменте, и соединенных посредством нагелей со стойкой (рис.1.2 – 1.4).



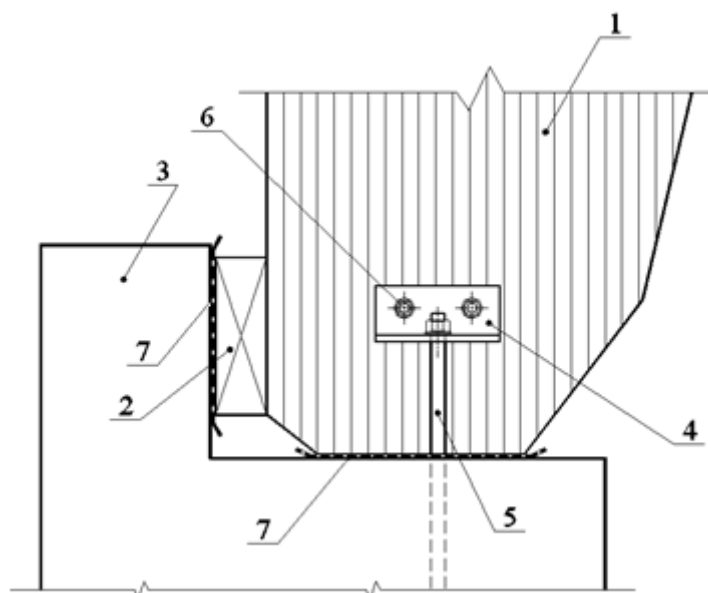
1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – металлическая пластина; 3 – нагельные элементы; 4 – железобетонная опора; 5 – гидроизоляционная подкладка

Рисунок 1.2 – Схема узла соединения стойки рамы с фундаментом посредством стальных пластин и нагелей



1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – анкерные болты; 3 – нагели; 4 – металлические уголки; 5 – железобетонная опора; 6 – гидроизоляционная подкладка

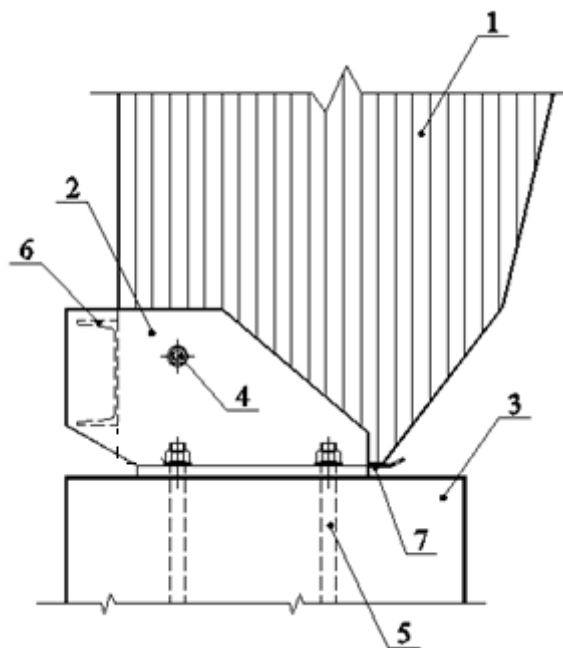
Рисунок 1.3 – Схема узла соединения стойки рамы с фундаментом с использованием стальных уголков



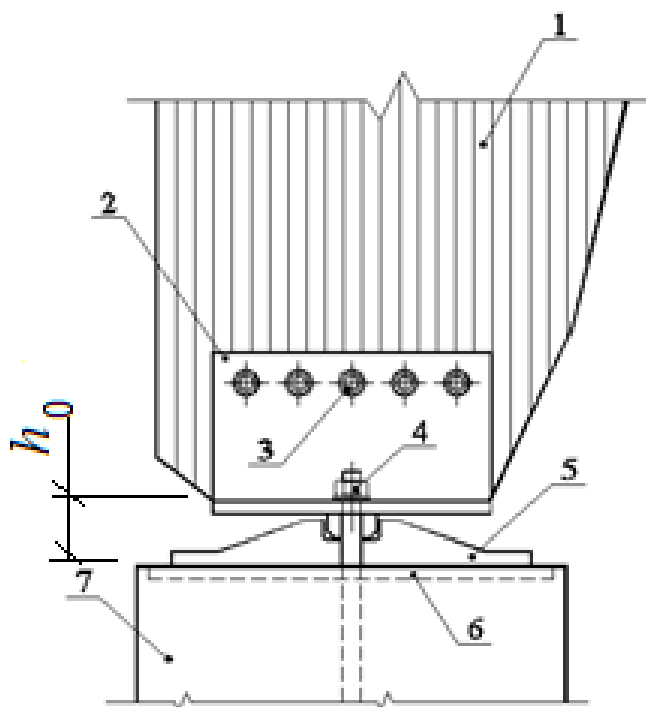
- 1 – стойка из дощатоклееной древесины;
 2 – антисептированная деревянная прокладка;
 3 – армированный выступ фундамента;
 4 – металлический уголок; 5 – анкерный болт;
 6 – стяжные шпильки (нагели); 7 – гидроизоляционная прокладка

Рисунок 1.4 – Схема узла соединения стойки рамы с железобетонной опорой

1.3.3 При пролетах рам более 21 м соединение стоек с опорой рекомендуется выполнять с использованием металлических башмаков, присоединенных с помощью нагелей к древесине стоек (рис.1.5 и рис.1.6). Контактующие с металлом поверхности древесины должны быть защищены от конденсационного увлажнения.



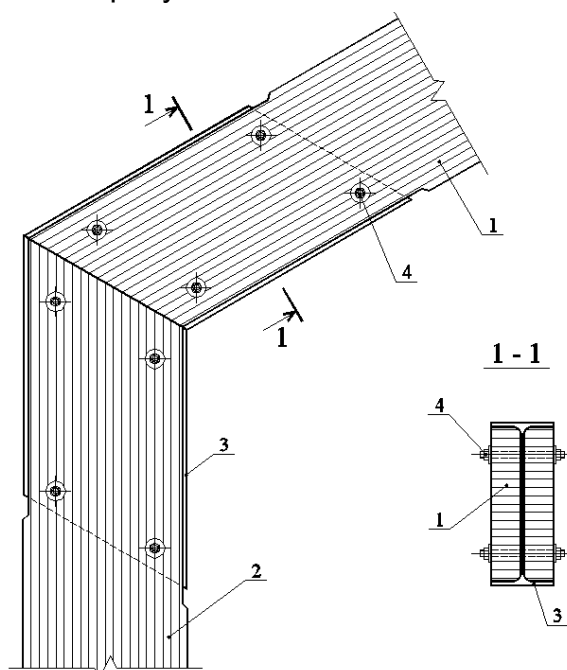
- 1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – стальной сварной башмак;
 3 – железобетонная опора; 4 – стяжные шпильки (нагели); 5 – анкерный болт;
 6 – металлический упор сварного башмака; 7 – гидроизоляционная прокладка
- Рисунок 1.5 – Схема узла опирания стойки рамы на железобетонную опору с использованием стальных башмаков и нагелей**



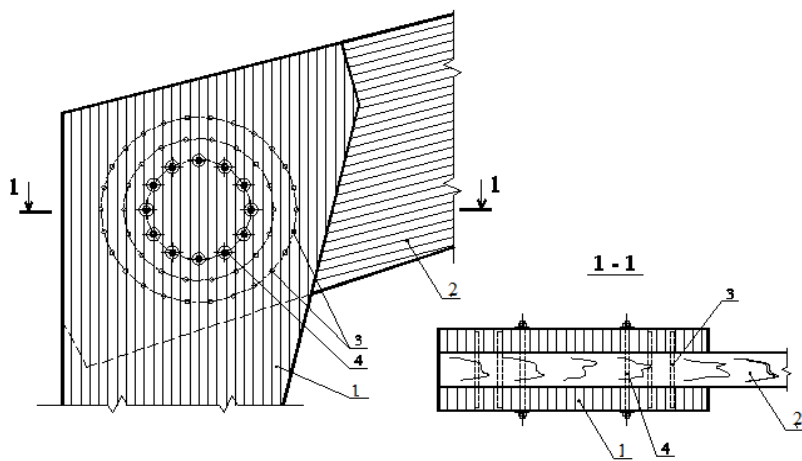
1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – стальной сварной башмак;
 3 – стяжные шпильки (нагели); 4 – анкерный болт; 5 – балансир шарнирного соединения;
 6 – металлическая закладная деталь; 7 – железобетонная опора
Рисунок 1.6 – Схема узла опирания стойки рамы на железобетонную опору с использованием стальных башмаков и балансиров

1.4 Конструктивные решения карнизных узлов рам

1.4.1 Соединение прямоугольных элементов рам в карнизном узле могут выполняться с использованием нагелей, вклеенных стержней, криволинейных и трапециевидных вставок на зубчатом шипу. Некоторые примеры соединений элементов рам в карнизном узле приведены на рисунках 1.7 – 1.11.

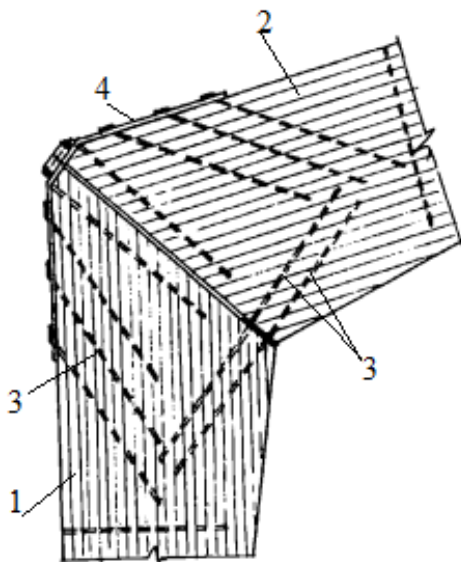


1 – ригель рамы; 2 – стойка рамы; 3 – металлический профиль двутаврового поперечного сечения; 4 – стяжные шпильки
Рисунок 1.7 – Схема узла соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием нагелей и металлических профилей



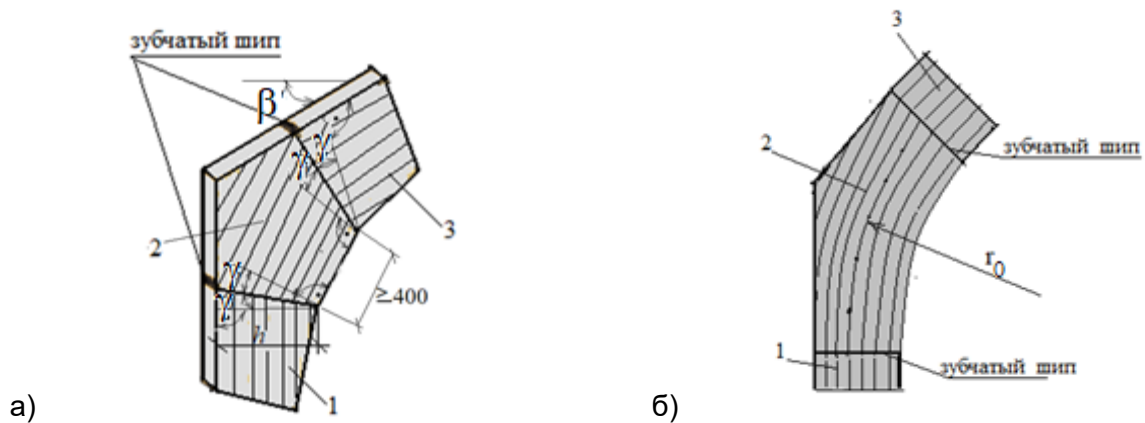
1 – стойка рамы из двух спаренных элементов; 2 – ригель рамы;
3 – нагели; 4 – стяжные шпильки

Рисунок 1.8 – Схема узла соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием нагелей



1 – стойка рамы из двух спаренных элементов; 2 – ригель рамы;
3 – вклеенные стержни; 4 – стальные пластины

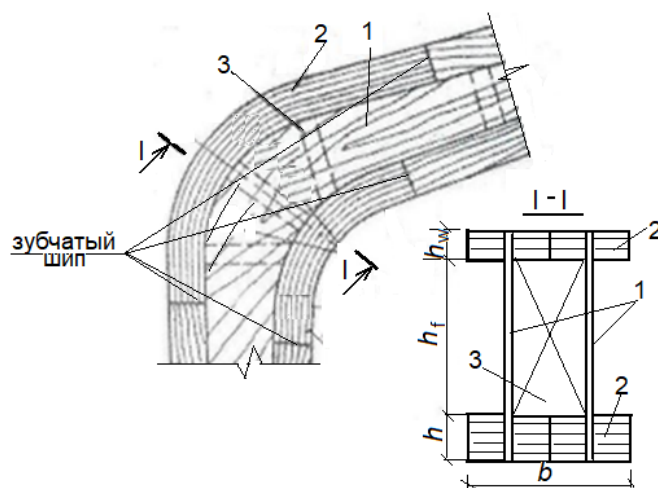
Рисунок 1.9 – Схема узла соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием вклеенных стержней



1 – стойка рамы; 2 – вставка; 3 – ригель рамы

а) – с трапециевидной вставкой; б) – криволинейной вставкой

Рисунок 1.10 – Схема соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием вставок на зубчатом шипу

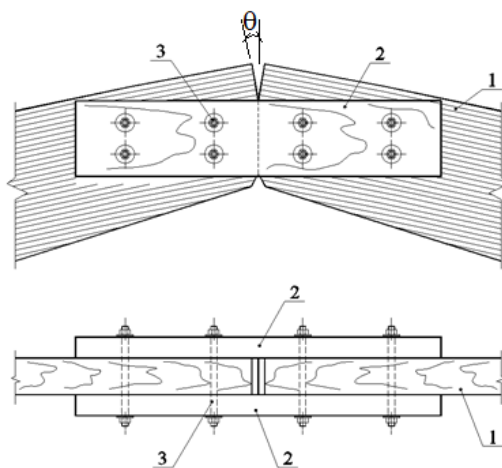


1 – фанерные стенки; 2 – пояса из дощатоклееной древесины; 3 – ребра жесткости
Рисунок 1.11 – Схема карнизного узла гнутоклееной дощатофанерной рамы двутаврового поперечного сечения

1.4.2 Соединение ригеля и стойки в карнизном узле с использованием гнутоклееных или трапециевидных вставок (рис. 1.10) используют в дощатоклееных рамах из прямолинейных элементов, а криволинейных вставок (рис. 1.11) – в дощатофанерных. Данное соединение выполняется механизировано с помощью зубчатого стыка. Радиус кривизны геометрической оси гнутоклееных вставок не должен превышать $1/150t$, где t – толщина досок. Длина трапециевидной вставки по направлению волокон не должна быть менее 400 мм, а угол $\gamma = 22,5^\circ - \beta / 4$, где β – угол наклона верхней грани ригеля к горизонтальной поверхности (рис. 1.10 а).

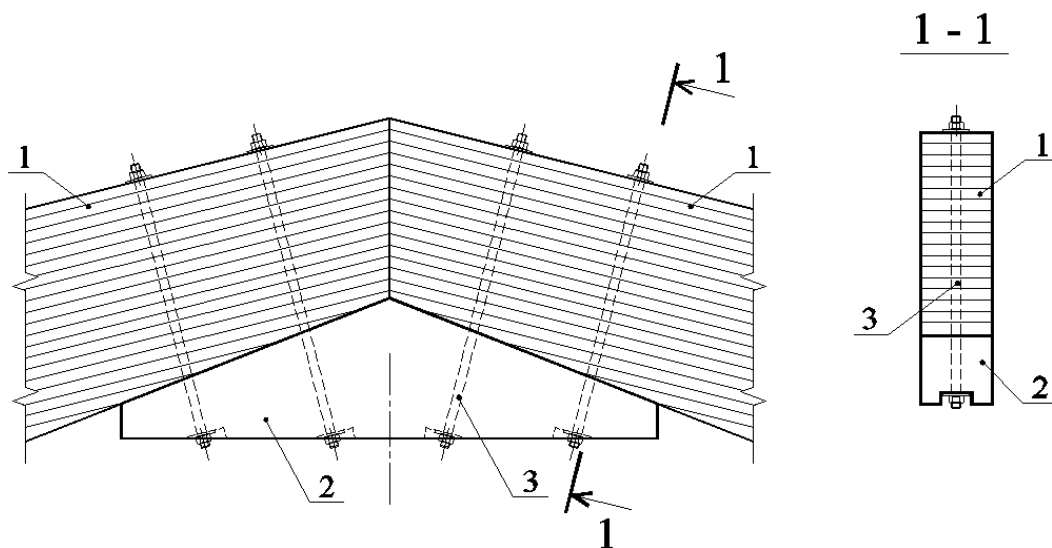
1.5 Конструктивные решения коньковых узлов рам

1.5.1 При пролетах рам до 21 м ригели полурам всех типов соединяются в коньке непосредственно лобовым упором скошенных под углом θ торцов сечения, центрированного по оси ригеля, боковых накладок, соединенных с ригелями посредством нагелей (рис. 1.12 и рис. 1.13). Величину угла θ принимают равной от 15° до 20° по отношению к вертикальной оси, а длину опорной площадки лобового упора l_n определяют расчетом.

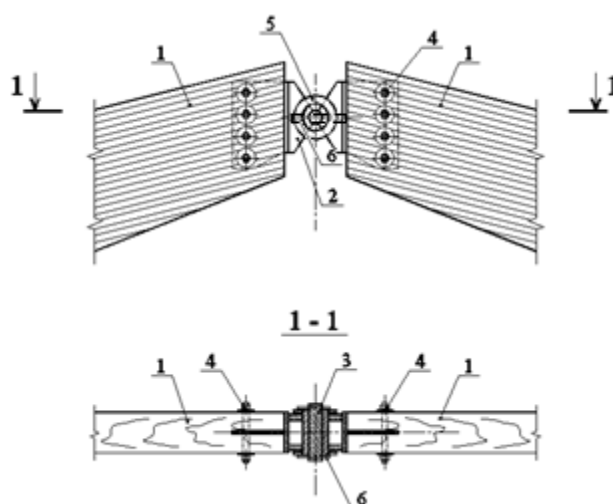


1 – дощатоклееные полурамы; 2 –деревянная накладка;
 3 – стяжные шпильки (нагели)

Рисунок 1.12 – Схема узла соединения полурам в коньке рамы посредством деревянных накладок и нагелей



1 – дощатоклеенные полурамы; 2 –деревянная подкладка; 3 –стяжные шпильки
**Рисунок 1.13 – Схема узла соединения полурам
 в коньке рамы посредством деревянной подкладки и нагелей**



1 – дощатоклеенные полурамы; 2 – металлический башмак; 3 – стальной шарнир;
 4 – стяжные шпильки (нагели); 5 – фиксирующие шайбы; 6 – шплинты
**Рисунок 1.14 – Схема узла соединения ригелей полурам
 в коньке рамы посредством металлических башмаков и нагелей**

1.5.2 При пролетах рам более 21 м, соединение ригелей рам в коньковом узле осуществляют путем использования металлических башмаков, соединенных нагелями с древесиной ригелей (рис. 1.14). Контактующие с металлом поверхности древесины должны быть защищены от конденсационного увлажнения.

2 Общие рекомендации по конструированию и расчету деревянных рам

Проектирование деревянных рам выполняют в следующей последовательности:

- разработка и компоновка геометрической формы рамы (назначение и определение размеров элементов);
- выбор расположения характерных сечений рамы);
- назначение материала рамы; определение расчетных значений нагрузок и разработка расчетной схемы;

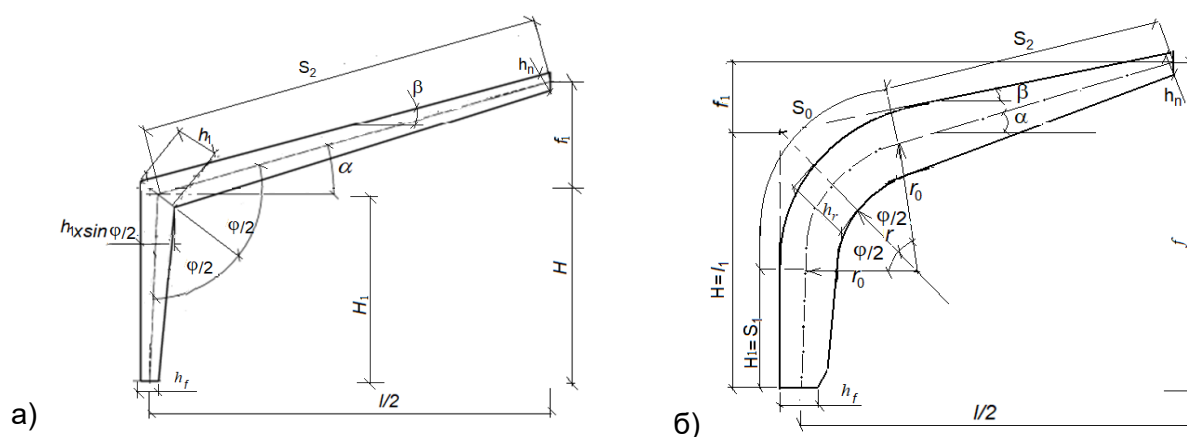
- выполнение статического расчета (определение расчетных значений внутренних усилий в сечениях рамы для различных комбинаций нагружения);
- проверка предельных состояний несущей способности элементов рамы;
- конструирование узлов рамы и выполнение проверок их предельных состояний несущей способности.

2.1 Разработка и компоновка геометрической формы рамы

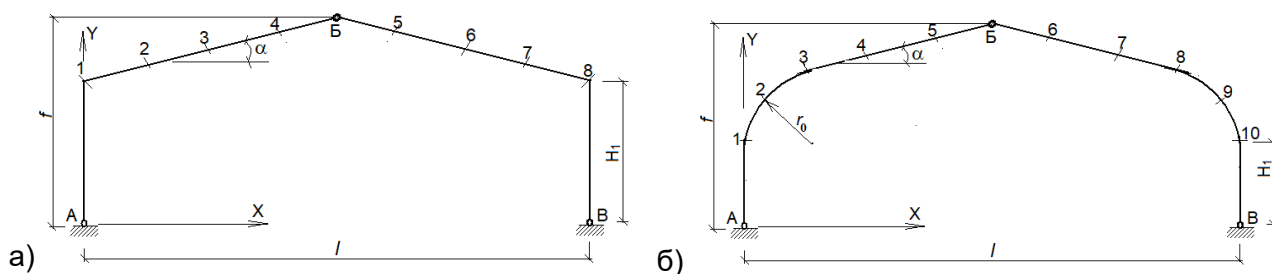
2.1.1 Разработка геометрической формы рамы включает в себя определение длин элементов, углов наклона и координат точек сечений.

2.1.2 Угол наклона ригеля рамы назначают исходя из принимаемой конструкции покрытия, материала кровли, условий эксплуатации, функционального назначения проектируемого здания и т. п.

2.1.3 За расчетные оси трехшарнирных рам рекомендуется принимать оси, проходящие через центры опорного, карнизного и конькового узлов (рис. 2.1 и рис. 2.2). Высоту поперечного сечения элементов рамы в опорном h_f коньковом h_n и карнизном узле $h_r(h_1)$, принимают в соответствии с рекомендациями п. 1.1.5 и п. 1.2.5 настоящего пособия.



а) – полурама из прямолинейных элементов; б) – криволинейная полурама
Рисунок 2.1 – Расчетные оси трехшарнирных рам



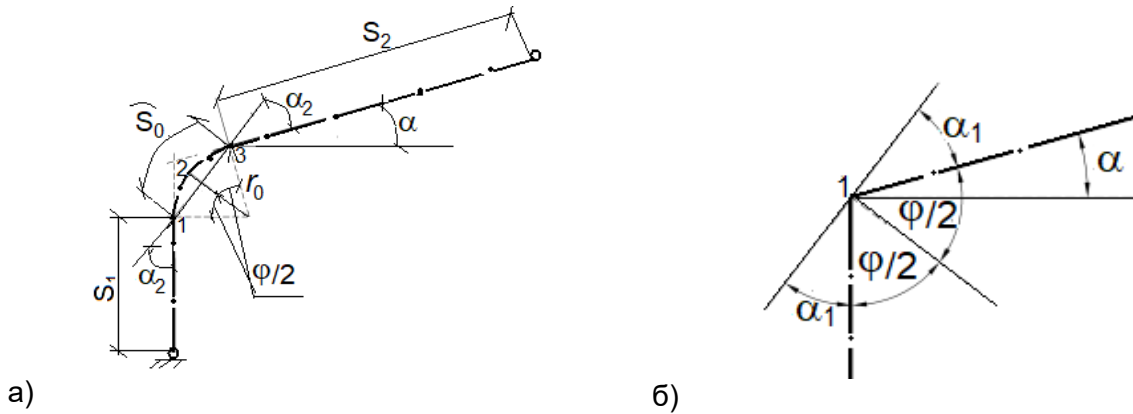
а) – из прямолинейных элементов; б) – гнутоклеевой
Рисунок 2.2 – Геометрические модели трехшарнирных рам с нумерацией характерных сечений

Радиус кривизны r_0 гнутого участка модели рамы рекомендуется принимать близким к наименьшему допустимому, равному $150t$, где t – толщина склеиваемых досок. Увеличение радиуса нерационально, так как уменьшает объем помещения.

Геометрический расчет гнутоклеевой полурамы с углом наклона геометрической α оси к горизонту, радиусом выгиба r_0 , длиной прямолинейных участков стойки S_1 и S_2 ригеля, можно производить с использованием следующих параметров (рис. 2.1, рис. 2.2 рис. 2.3):

φ – центральный угол оси выгиба, $\varphi = 90 - \alpha$;
 $\varphi/2$ – угол между радиусом, проходящим по биссектрисному сечению и осям стойки и ригеля, $= (90 + \alpha)/2$;
 α_2 – угол наклона касательной оси середины выгиба к осям стойки и ригеля
 $\alpha_2 = (90 - \alpha)/2$ (рис. 2.3).

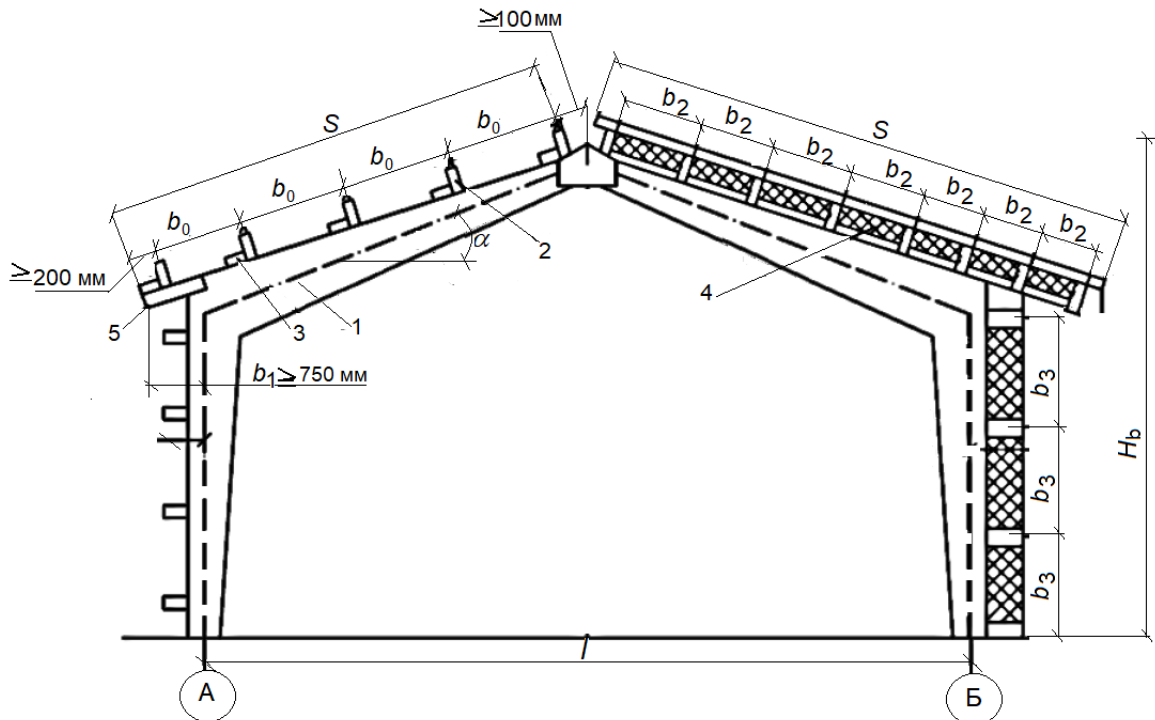
По ним определяют координаты характерных точек оси рамы на гнущем участке и задаются промежуточные точки, в которых будут находиться усиления.



а) – гнукотклееной; б) – из прямолинейных элементов
Рисунок 2.3 – Ось карнизного узла рамы

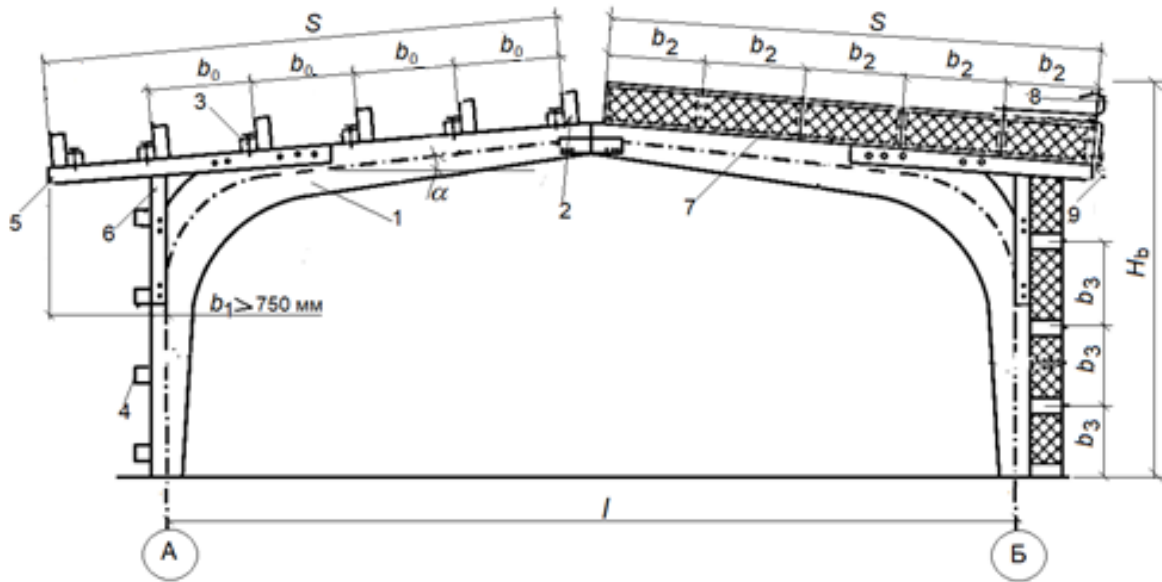
2.2 Конструирование покрытий по рамам

2.2.1 При конструировании рам первоначально определяют угол наклона ската к горизонту β и угол α геометрической оси рамы согласно подразделу 2.1 настоящего пособия (рис. 2.1, 2.2, 2.3), а также рисунков 2.4 и 2.5 настоящего подраздела.



1 – ригель рамы; 2 – прогон кровли; 3 – бобышки;
 4 – трёхслойная плита; 5 – кобылка

Рисунок 2.4 – Варианты конструктивных схем ограждающих конструкций зданий с использованием трехшарнирных рам из прямолинейных элементов



1 – рама; 2 – прогон покрытия; 3 – бобышки;
 4 – прогоны стенового ограждения; 5 – кобылки покрытия;
 6 – кобылки стены; 7 – трехслойная плита; 8 – рулонная кровля; 9 – слив
Рисунок 2.5 – Варианты конструктивных схем ограждающих конструкций зданий с использованием трехшарнирных гнутоклееных рам

2.2.2 Предварительную длину ската определяет с учетом свеса кровли b_1 , который не должен быть меньше 750 мм от оси стоек, т. е. полная длина ската будет составлять $S=(l/2+b_1)/\cos\beta$. Окончательную длину S_{ef} вычисляют после назначения других размеров и вычетом половины высоты сечения стойки, высоты сечения прогона, толщины обшивочных досок, плит покрытия или профнастила.

Шаг прогонов назначают либо по их количеству $b_0 = S/n_2$, где n_2 – количество шагов прогонов. Шаг прогонов допускается принимать исходя из толщины настила.

2.2.3 Удлинение ската кровли выполняют при помощи кобылок 5 (рис. 2.4, 2.5), устанавливаемых в виде двусторонних консольных досок (брусков) на болтах или гвоздях.

2.2.4 При устройстве свеса для гнутых рам (рис. 2.5) с кровлей и стеновым ограждением из профилированного настила, торцы кровли обустройстваются в виде гнутых нащельников из такого же тонколистового металла, применяемого для сливов, карнизных и коньковых профилей и других деталей.

2.2.5 В зданиях с утепленными плитами их ширина может приниматься от 1,2 м до 3 м.

Обшивки нижнего ряда стеновых панелей выполняют с одной или обеих сторон из более прочных и долговечных материалов, например, из стеклопластика.

2.3 Определение нагрузок

2.3.1 При проектировании рам значения постоянных и переменных нагрузок определяют в соответствии с требованиями [5 – 9, 11]. Значения нагрузок от оборудования принимают в соответствии с заданием на проектирование.

2.3.2 Расчётные значения нагрузок определяют по формулам [6]:

– для постоянных нагрузок

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

– для переменных нагрузок

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

здесь g_d и q_d – расчетное значение постоянной и переменной нагрузки, 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, учитывающие возможность неблагоприятных отклонений от характеристических значений;

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

2.3.3 В соответствии с правилами [5] и требованиями [6] проверки предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности деревянных рам выполняют, используя метод частных коэффициентов.

Целью данных проверок является, чтобы во всех соответствующих расчетных ситуациях ни одно из значимых предельных состояний не было 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 [5] или [6].

2.3.4 При выполнении проверок предельных состояний рам и их узлов в соответствующих расчетных ситуациях, отдельные нагрузки объединяют в сочетания по правилам, установленным в [6], определяя таким образом значения эффектов воздействий – внутренних усилий в сечениях элементов конструкции, используя следующие формулы:

– для проверок предельных состояний несущей способности

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

$$\left. k_{FI} \cdot \left(\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right) \right\} \quad (2.6)$$

– 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, значение которого принимают в зависимости от класса последствий в соответствии с требованиями [6];

$\gamma_{G,j}$ – частный коэффициент для постоянного j -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [6];

$\gamma_{Q,i}$ – частный коэффициент для переменного i -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [6];

ψ_0 – коэффициент преобразования переменных воздействий в комбинационное значение; принимают по таблице 5.3 в [6];

ψ_{2i} – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия; принимают по таблице 5.3 в [6];

ξ – коэффициент уменьшения неблагоприятных постоянных воздействий; определяют в соответствии с требованиями [6];

$G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного j -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [12];

Q_{k1} – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия; определяют в соответствии с требованиями [7 – 9, 11].

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 – 2.8), т. е. умножаются на коэффициенты сочетаний, установленные в [5 или 6].

2. При учете основных сочетаний, включающих постоянные нагрузки и одну переменную нагрузку (длительную, среднесрочную или кратковременную), значения коэффициентов ξ и ψ в выражениях (2.5 - 2.8), принимают равными единице.

2.3.5 В соответствии с требованиями [6]:

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

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

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

2.3.6 При проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности рам определяют полный прогиб в соответствии с правилами п. 5.4.7 [5], т.е.

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

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

u_{inst} – начальный прогиб от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания;

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

2.3.7 Значение прогиба в результате ползучести древесины и материалов на ее основе при длительном действии нагрузок определяют по формуле

$$u_{creep} = k_{def} \cdot u_{inst} \quad , \quad (2.10)$$

где k_{def} – коэффициент ползучести, значение которого принимают по таблице 5.5 [5].

2.3.8 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.

2.4 Определение прочностных и упругих характеристик материала элементов рамы

2.4.1 В зависимости от пролета, величин воздействий, условий эксплуатации и технологических возможностей производственной базы для изготовления рам могут быть использованы такие материалы как: брусья; дощатоклееная древесина; древесина из клееного шпона (LVL); фанера в комбинации с дощатоклееной древесиной (дощато-фанерные рамы) [1 – 3].

При проектировании рам с использованием древесных материалов предварительно определяют расчетные значения прочностных и упругих характеристик материалов элементов [5], используемых при выполнении проверок предельных состояний.

2.4.2 Расчетные значения прочности пиломатериалов, клееной древесины, материала из клееного шпона (LVL) и фанеры элементов рамы определяют для каждого вида напряженно-деформированного состояния по формуле (2.11).

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot \prod_1^n k_j, \quad (2.11)$$

где 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 А.2 приложения А настоящего пособия;

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;

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделия; принимают по таблице А.1 приложения А настоящего пособия;

$\prod_1^n k_j$ – произведение частных коэффициентов k_j , учитывающих геометрические параметры элемента конструкции, вид напряженного состояния и распределение напряжений в сечении элемента.

2.4.3 Для элементов рам расчетные значения прочности материала должны определяться по правилам, установленным в п. 6.3 [5]. Согласно правилам данного пункта в зависимости от вида напряженного состояния, расчетные значения прочности материала элемента рамы рассчитываются с учетом коэффициентов k_h , и k_l , определяемых по формулам (5.33) – (5.36) [5].

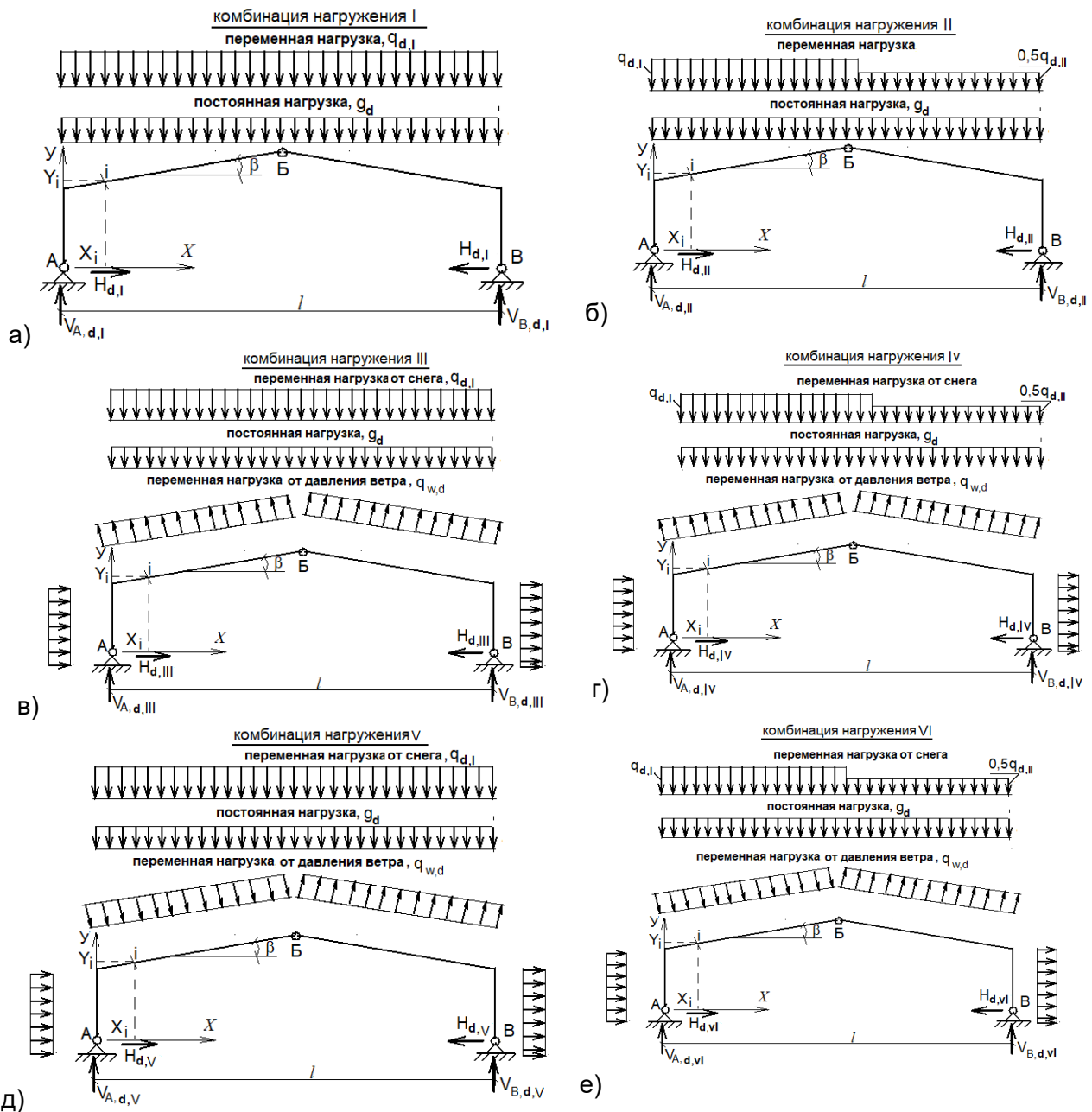
2.5 Определение внутренних усилий в сечениях элементов рамы

2.5.1 В соответствии с требованиями [5 – 9,11] статический расчет трехшарнирных рам выполняют для следующих комбинаций нагружения:

а) комбинация нагружения I – расчетная постоянная + переменная снеговая нагрузки на всем пролете рамы (рис. 2.6 а);

б) комбинация нагружения II – расчетная постоянная нагрузка на всем пролете + снеговая не симметричная нагрузка (рисунок 2.6 б);

в) комбинация нагружения III – расчетная ветровая нагрузка в сочетании с перечисленными выше нагрузками при высоте стоек рам более 4 м (рис. 2.6 в – 2.6 е) При меньшей высоте ветровую нагрузку можно не учитывать.



а) – комбинация I (равномерно распределенная постоянная q_d нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка); б) – комбинация II (равномерно распределенная постоянная + переменная снеговая $q_{d,II}$ нагрузка); в) – комбинация III (равномерно распределенная постоянная q_d нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta \leq 30^\circ$); г) – комбинация IV (равномерно распределенная постоянная q_d нагрузка + переменная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta \leq 30^\circ$); д) – комбинация V (равномерно распределенная постоянная q_d нагрузка + равномерно распределенная переменная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta > 30^\circ$); е) – комбинация VI (равномерно распределенная постоянная q_d нагрузка + переменная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta > 30^\circ$)

Рисунок 2.6 – Схемы комбинаций нагружения рам

2.5.2 Усилия в сечениях элементов рам определяют по общим правилам строительной механики или с использованием сертифицированных в установленном порядке программных вычислительных комплексов.

При определении усилий в сечениях элементов рам (рис. 2.7) по правилам строительной механики используют следующие формулы:

$$R_{d,A} = \frac{(3 \cdot q_{dI} + q_{dII}) \cdot l}{8}, \quad (2.12)$$

$$R_{d,B} = \frac{(q_{dI} + 3 \cdot q_{dII}) \cdot l}{8}, \quad (2.13)$$

$$H_d = \frac{(q_{dI} + q_{dII}) \cdot l^2}{16 \cdot f}, \quad (2.14)$$

$$M_{d,i} = M_{d,b,i} - H_d \cdot y_i, \quad (2.15)$$

$$N_{d,i} = V_{d,b,i} \cdot \sin \beta_i + H_d \cdot \cos \beta_i, \quad (2.16)$$

$$V_{d,i} = V_{d,b,i} \cdot \cos \beta_i - H_d \cdot \sin \beta_i, \quad (2.17)$$

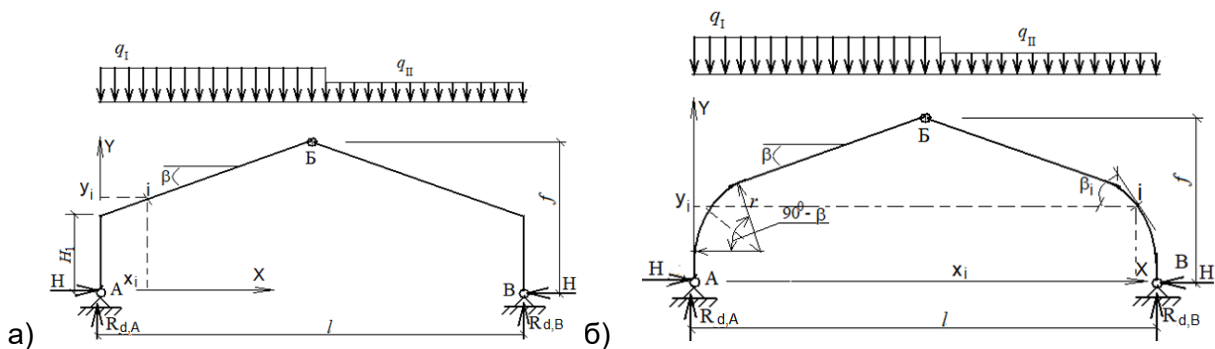
где $R_{d,A}$ и $R_{d,B}$ – соответственно расчетное значение опорных реакций (рис. 2.7);

$M_{d,b,i}$ и $V_{d,b,i}$ – соответственно расчетное значение изгибающего момента и поперечной силы на расстоянии x_i от принятого начала координат (обычно от левой опоры в точке А), определяемые как для балки на двух опорах пролетом l для соответствующей комбинации нагружения;

H_d – горизонтальная составляющая (распор) опорной реакции рамы для соответствующей комбинации нагружения (рис.2.7);

y_i – координата точки i в направлении оси y (рис. 2.7);

β_i – угол наклона касательной в точке i к горизонту (рис. 2.7).



а) – из прямолинейных элементов; б) – гнutoклевых элементов
Рисунок 2.7 – Пример расчетной схемы трехшарнирной рамы

2.6 Проверка предельных состояний несущей способности элементов рамы

2.6.1 При выполнении проверок предельных состояний несущей способности

элементов рам расчетными сечениями являются:

– для рам типа «а» сечение в криволинейной части в месте наибольшего момента, а также сечения в местах соединения криволинейного участка с ригелем и стойкой, т. е. в месте зубчатого стыка;

– для рам типов «б» по п. 1.2.3 сечение в криволинейной части с наибольшим расчетным значением изгибающего момента;

– для рам типа «в» по п. 1.2.3 сечения, нормальные к оси ригеля, расположенные у подкоса и между стойкой и подкосом, если на этом участке высота сечения ригеля меньше высоты, чем у подкоса;

– для рам типа «г» по п. 1.2.3 сечения, нормальные к оси ригеля у сжатого подкоса и между подкосом и растянутым тяжом (пластиной).

2.6.2 Во всех сечениях рам выполняют проверку сопротивлений опорных площадок сжатию древесины вдоль или под углом к волокнам.

2.6.3 Проверку на сдвиг следует производить в опорном сечении стоек, сечениях конькового узла, а в рамах типа «в» по п. 1.2.3 – в опорных сечениях ригеля у стойки и у подкоса.

2.6.4 При соблюдении рекомендуемых в п. 1.1.5, 1.2.5 – 1.2.7 настоящего пособия размеров сечений элементов рам, проверку прогиба в коньке не производят за исключением рам с консолями, где проверяют прогиб консоли.

2.6.5 Дощато-фанерные рамы, состоящие из дощатых поясов и фанерных стенок, подкрепленных ребрами жесткости, относятся к облегченным конструкциям. В таких рамах рекомендуется использовать преимущественно коробчатое сечение. При конструировании дощато-фанерных рам волокна наружных слоев шпона рекомендуется располагать параллельно внешней контуре стоек и ригеля. Ребра жесткости в прямолинейных частях элементов рам устанавливаются в створе стыков фанерных стенок и, если необходимо, – в промежутках. Расчет клеефанерных рам следует выполнять в соответствии с правилами [5]. Расчетными сечениями таких рам является сечение, проходящее по биссектрисе карнизного узла, и сечения в местах соединения на зубчатом шипе поясов ригеля и стойки с криволинейной вставкой.

2.6.6 При выполнении проверок предельных состояний несущей способности элементов рам рекомендуется следующий алгоритм:

2.6.6.1 Назначение основных размеров габаритов рамы и поперечных сечений в опорном, коньковом и карнизном узлах выполняют в соответствии с рекомендациями п. 1.1.5, 1.2.5 – 1.2.7 настоящего пособия.

2.6.6.2 Определение условий эксплуатации и выбор материала рамы (класса эксплуатации, значений частных коэффициентов, прочностных и упругих характеристик, используемых материалов) руководствуясь правилами п. 5.3.9, 5.3.10, подраздела 5.5 и раздел 6 [5].

2.6.6.3 Разработка и обоснование расчетных схем рамы (определение расчетных значений воздействий и комбинаций нагружения) в соответствии с требованиями и правилами [5 – 9].

2.6.6.4 Выполнение предварительного статического расчета рамы по определению опорных реакций, внутренних усилий в коньковом и карнизном узлах (рис. 2.6) для всех комбинаций нагружения. Данный расчет производят по правилам строительной механики или с использованием сертифицированных в установленном порядке программных вычислительных комплексов.

2.6.6.5 Выполняют проверки сопротивлений принятого поперечного сечения в опорном узле рамы при действии максимального расчетного значения продольного $N_{d,max}$ и максимального расчетного значения сдвигающего $V_{d,max}$ усилий, используя формулы (2.18) и (2.20). При несоблюдении условий (2.18) и (2.19) выполняют корректировку размеров ранее принятого поперечного сечения.

$$\frac{\sigma_{c,0,di}}{f_{c,0,di}} \leq 1, \quad (2.18)$$

где $\sigma_{c,0,di}$ – расчетное значение напряжения сжатия вдоль волокон древесины, возникающее в рассматриваемом сечении или по контактной площадке элемента от действия расчетного значения продольного $N_{E,di}$ усилия для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (2.19);

$f_{c,0,di}$ – расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения.

$$\sigma_{c,0,di} = \frac{N_{E,di}}{b \cdot h_f}, \quad (2.19)$$

здесь $N_{E,di}$ – расчетное значение сжимающего усилия в сечении элемента для i -ой комбинации нагружения;

b – ширина поперечного сечения элемента рамы в опорном узле;

h_f – высота поперечного сечения (длина опорной площадки) в опорном узле рамы.

$$\frac{\tau_{di}}{f_{v,0,di} \cdot k_{cr}} \leq 1, \quad (2.20)$$

где τ_{di} – расчетное значение напряжения сдвига (скалывания) вдоль волокон древесины, возникающее в рассматриваемом сечении элемента от действия расчетного значения усилия $V_{E,di}$ сдвига для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (2.21);

$f_{v,0,di}$ – расчетное значение прочности древесины элемента при сдвиге вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

k_{cr} – коэффициент, учитывающий возможное появление поверхностных трещин, значение которого принимается в соответствии с п 7.3.3 [5]

$$\tau_{di} = \frac{V_{E,di} \cdot S}{I_y \cdot b}, \quad (2.21)$$

здесь b – ширина поперечного сечения стойки в опорном узле рамы;

S – статический момент сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси y ;

I_y – момент инерции поперечного сечения в опорном узле рамы относительно оси y .

b – ширина поперечного сечения стойки в опорном узле рамы.

2.6.6.6 Проверку сопротивления принятого поперечного сечения в коньковом узле рамы выполняют аналогично проверкам опорного узла, с использованием формул (2.18 и 2.21). При несоблюдении условий (2.18) и (2.20) выполняют корректировку размеров ранее принятого поперечного сечения.

2.6.6.7 После корректировки поперечных сечений элементов рамы в опорном и коньковом узлах, если в этом есть основания, выполняют повторно статический расчет по определению внутренних усилий в элементах рамы для принятых комбинаций нагружения.

2.6.6.8 Выполняют проверку устойчивости прямолинейных элементов как из плоскости рамы, так и в ее плоскости.

2.6.6.8.1 Проверку устойчивости прямолинейных элементов из плоскости рамы выполняют аналогичным образом, как для сжато-изгибаемых элементов с учетом их раскрепления из плоскости, т.е. с учетом значений $\lambda_{rel,z}$ и $\lambda_{rel,m}$, согласно п 7.5 [5].

Примечание. При использовании в качестве кровли стальных профилированных листов, соединенных посредством винтов с прогонами, длина которых более двух шагов рам, расчетная длина участка $l_{ef} = b_0$, где b_0 – шаг прогонов (рис. 2.4 и 2.5). Если в качестве основания под кровлю используют плитные элементы из ОСП, ДСП или ДВП, то $l_{ef} = a$, где a – расстояние между узлами связей ферм в покрытии. Данную проверку выполняют как минимум в двух сечениях проверяемого элемента рамы.

2.6.6.8.2 Проверку устойчивости криволинейных участков рамы из ее плоскости выполняют аналогичным образом, как для сжато-изгибаемых элементов с учетом кривизны, значений $\lambda_{rel,z}$ и $\lambda_{rel,m}$, т.е. раскрепления из плоскости. Значение коэффициента k_r , учитывающего снижение прочности клееной древесины из-за изгиба досок (слоев), определяют согласно п. 10.2.8 [5]. Данную проверку выполняют в сечении, проходящем по биссектрисе карнизного узла рамы.

Значение критического $\sigma_{crit,m}$ напряжения от изгиба, используемого при определении величин приведенной гибкости $\lambda_{rel,m}$ и коэффициента k_{crit} , определяют по формуле (2.22).

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\left(\frac{\pi}{l_{0,z}} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{05} \cdot k_v} + \frac{E_{0,05} \cdot I_z + G_{05} \cdot k_v}{2 \cdot r_0} \right)}{W_y}, \quad (2.22)$$

где $l_{0,z}$ – расчетная длина криволинейного участка рамы при изгибе относительно оси z, равная длине дуги S_0 по нейтральной оси между узлами раскрепления криволинейного участка из плоскости рамы;

I_z – момент инерции поперечного сечения относительно оси z, определяемый по формуле (2.23);

$E_{0,05}$ и $G_{0,05}$ – характеристические значения модуля модулей упругости и сдвига дощатоклееной древесины, принимаемые в зависимости от класса прочности по таблицам приложения Б настоящего пособия;

W_y – момент сопротивления поперечного сечения относительно оси y;

r_0 – радиус кривизны геометрической оси криволинейного участка полурамы (рисунок 2.8);

k_v – коэффициент, значение которого определяют по формуле (2.24).

$$I_z = \frac{b^3 \cdot h_r}{12}, \quad (2.23)$$

$$k_v = \frac{b^3 \cdot h_r}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h_r} \right), \quad (2.24)$$

здесь b и h_r – ширина и высота поперечного сечения, проходящего по биссектрисе карнизного узла полурамы.

2.6.6.8.3 Проверку устойчивости рамы в ее плоскости выполняют, как для прямолинейных или криволинейных (в зависимости от типа рамы) сжато-изгибаемых элементов. Напряжения, вызванные геометрическими несовершенствами, как в плоскости, так и из плоскости рамы, а также возникающие при этом деформации, учитывают путем понижения прочности на сжатие и изгиб с помощью коэффициентов k_c и k_{crit} .

Расчетную l_{ef} длину полурамы в ее плоскости определяют по формуле

$$l_{ef} = 1,25 \cdot a_s, \quad (2.25)$$

где a_s – длина полурамы с учетом длины дуги криволинейного участка (рис. 2.8).

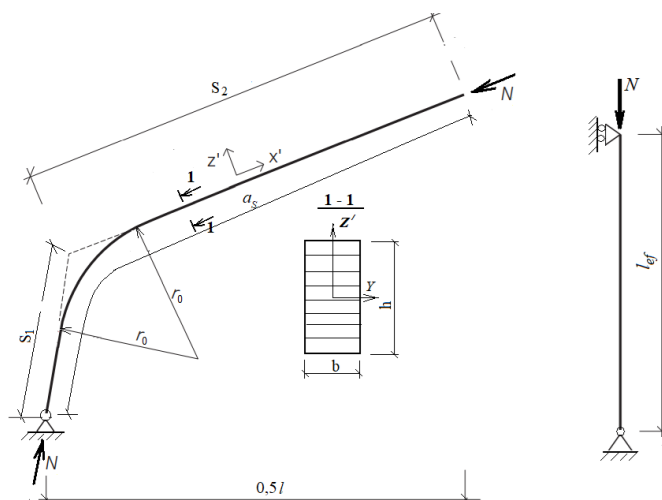


Рисунок 2.8 – Модель полурамы, используемая для определения расчетных длин ригеля и стойки

Устойчивость рамы в ее плоскости проверяют исходя из соблюдения условия

$$\frac{\sigma_{m,y,di}}{k_r \cdot f_{m,y,di}} + \frac{\sigma_{c,0,di}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,di}} \leq 1, \quad (2.26)$$

где $\sigma_{m,y,di}$ и $\sigma_{c,0,di}$ – соответственно расчетные значения нормальных напряжений в рассматриваемом сечении элемента от изгиба и сжатия для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемые по формулам (2.27 и 2.28);

$f_{m,y,di}$ и $f_{c,0,di}$ – соответственно расчетные значения прочности древесины элемента при изгибе и сжатии для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемые в соответствии с рекомендациями п. (2.29 и 2.30) настоящего пособия;

k_r – коэффициент, учитывающий наличие внутренних технологических напряжений, возникающих в сечении при придании элементу криволинейной формы, определяемый в соответствии с правилами п. 10.2.8 [5];

$k_{c,y}$ – коэффициент продольного изгиба относительно оси y , значение которого определяют в соответствии с правилами п. 7.2.2 [5].

$$\sigma_{m,y,di} = \frac{6 \cdot M_{E,y,di}}{b \cdot h^2}, \quad (2.27)$$

$$\sigma_{c,0,di} = \frac{N_{E,di}}{b \cdot h}, \quad (2.28)$$

здесь $M_{E,y,di}$ и $N_{E,di}$ – соответственно расчетные значения изгибающего момента относительно оси y и продольного усилия в сечении элемента для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

b и h – соответственно ширина и высота поперечного сечения элемента.

3 Пример конструирования и расчета дощатоклееной трехшарнирной рамы пролетом 30 м

3.1 Исходные данные

Запроектировать гнутую клееную трехшарнирную раму пролетом $l = 30$ м, шагом 4,5 м неутепленного складского здания (рисунок 3.1). Класс условий эксплуатации – 2. Район строительства г. Брест. Кровля выполнена из стальных профилированных листов, укладываемых по деревянным прогонам длиной 4,5 м, изготовленных из пиломатериалов класса прочности С 27. Соединение прогонов с ригелями рам осуществляется посредством винтов. Крепление стального профилированного листа к прогонам выполнено с использованием самонарезающих винтов. Поперечное сечение прогонов 100 X 180 мм, а шаг 1,5 м. Для изготовления рам используется однородная дощатоклееная древесина класса прочности GL 32h. Толщина слоев пиломатериалов $t = 20$ мм после острожки. Угол наклона геометрической оси ригеля рамы составляет $\beta = 18^\circ$, высота рамы в карнизном узле $H_1 = 4$ м (рисунок 3.1 г). Длина здания $L = 69$ м. Рамы устанавливаются на железобетонные опоры. Коньковые и опорные узлы рам выполнены с использованием стальных башмаков (рисунок 3.1 в, г). Продольная устойчивость покрытия обеспечивается крайними деревянными прогонами возле торцов и стальными диагональными связями с расстоянием между узлами связевых ферм 3 м, которые расположены в торцах здания и через 30 м вдоль здания (рисунок 3.1 б).

Для проектируемого здания согласно [6] устанавливается класс последствия СС 2.

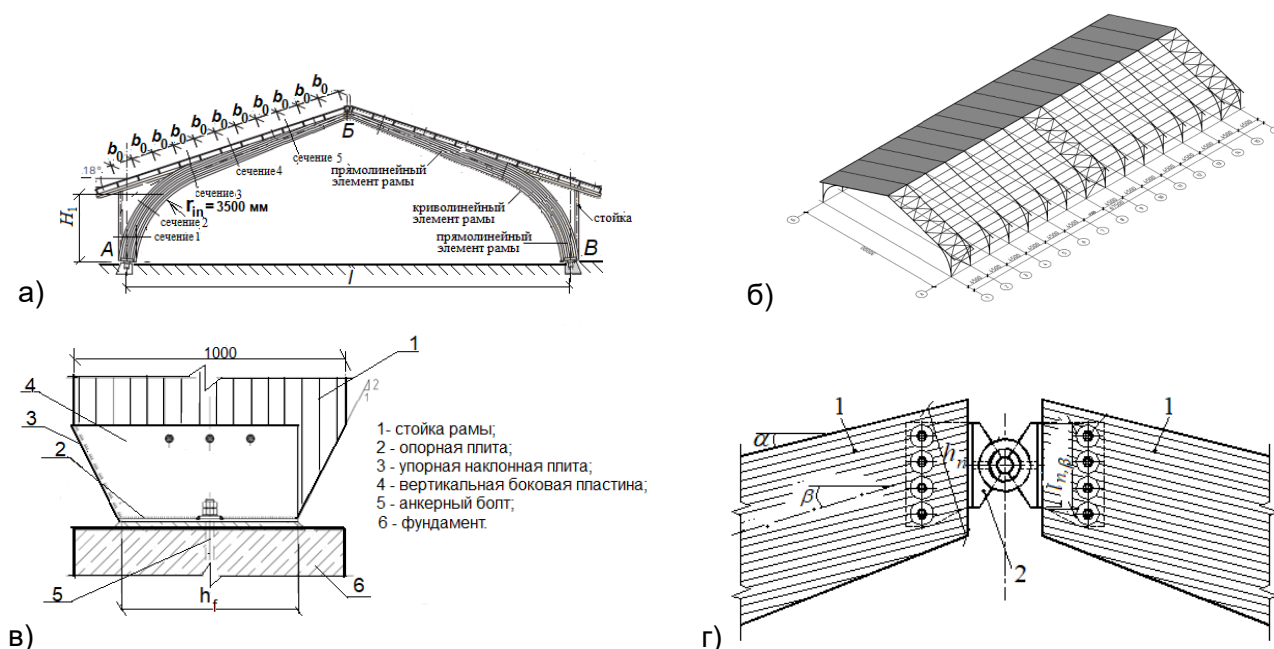


Рисунок 3.1 – Поперечный разрез (а), схема проектируемого здания склада (б), конструктивные схемы (в) опорного А и конькового Б узлов рамы (г)

3.2 Предварительное определение геометрических параметров рамы

В соответствии с рекомендациями п. 1.1.5 и п. 1.2.5-1.2.7 настоящего пособия предварительно назначают размеры поперечных сечений. Форму поперечных сечений рамы принимаем прямоугольной. Высоту h поперечного сечения стойки и криволинейного участка рамы принимаем постоянной, где $h_r = 1000$ мм, т. е. $h_r = l/30$. В опорном узле выполняют скосы. Длину опорного участка стойки рамы принимают из условия, что $l_f = 0,5h_r = 500$ мм. Высоту поперечного сечения ригеля рамы принимаем из условия, что $h_n = 0,3h_r = 300$ мм (рис. 3.2). Ширину поперечного сечения всех элементов рамы (ригеля, стойки и криволинейного участка) принимаем постоянной $b = 150$ мм $= 0,15h_r$. Толщину t досок для всех элементов рамы принимаем равной 20 мм

Радиус кривизны геометрической оси рамы на криволинейном участке назначаем из условия, чтобы $r_0 \geq t \cdot 150$. Принимаем, что $r_0 = 4000$ мм. Внутренний радиус $r_{in} = r_0 - h_r/2 = 4000 - 500 = 3500$ мм (рис. 3.2 б). Согласно исходным данным высота стойки $H_1 = 4000$ мм (рисунок 3.1 а).

Высоту подъема геометрической оси ригеля f_1 (рис. 3.2 а) определяют из выражения

$$f_1 = \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{l}{2} = \operatorname{tg} 18^\circ \cdot \frac{30}{2} = 0,3249 \cdot \frac{30}{2} = 4,87 \text{ м.}$$

Тогда расстояние f от торца стойки до геометрической оси рамы в коньке будет составлять

$$f = H_1 + f_1 = 4 + 4,87 = 8,87 \text{ м.}$$

Высоту a_1 криволинейного участка рамы (рис. 3.2) определяют из выражения

$$a_1 = r_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi / 2 = 4 \cdot 0,7265 = 2,9 \text{ м.}$$

Длину $a = S_1$ прямолинейного участка стойки рамы (рис. 3.2) определяют из выражения

$$a = S_1 = H_1 - a_1 = 4,0 - 2,9 = 1,1 \text{ м.}$$

Проверяем угол наклона геометрической оси ригеля $\beta = \arctg(f/l/2) = 4,87/15 = 18^\circ$, тогда угол в биссектрисном сечении $\varphi = (90^\circ - \beta) = (90^\circ - 18^\circ) = 72^\circ$ (рис. 3.2).

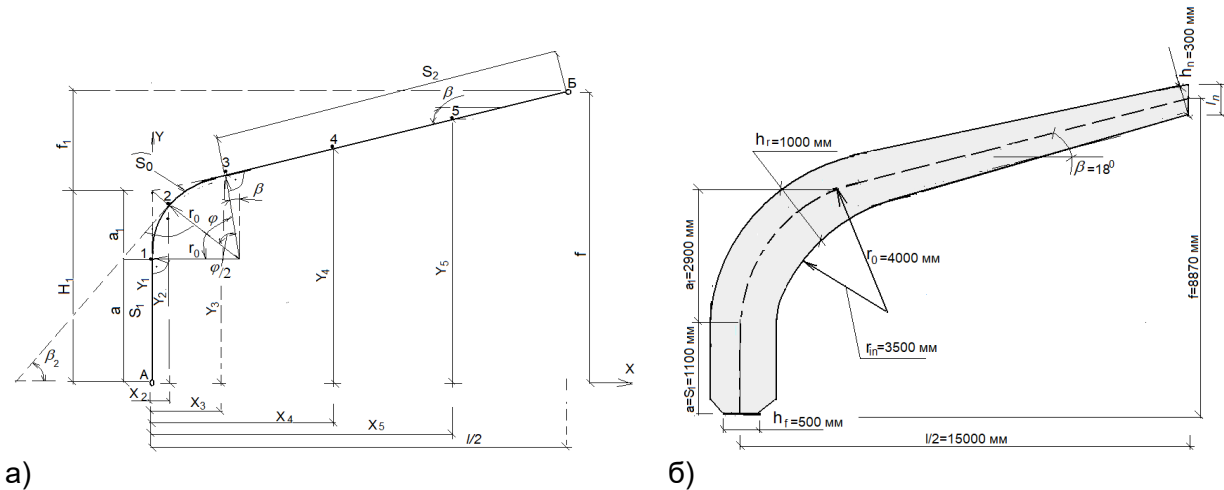


Рисунок 3.2 – Схема геометрической оси (а) и параметров полуарки (б)

За расчетную ось рамы принимаем ее геометрическую ось. Для выполнения статического расчета рамы определяют координаты точек для характерных сечений. В данном примере характерными точками являются координаты точек; А – опора; 1 – сопряжение стойки с криволинейным участком; 2 – расположенная на пересечении биссектрисы карнизного узла и геометрической оси рамы; 3 – сопряжение криволинейного участка с ригелем; 4 и 5 – минимальное количество точек разбики ригеля на расчетные участки; Б – коньковый узел (рис. 3.2 а).

Для определения координат точек предварительно производят вычисление следующих геометрических параметров:

– длину S_1 прямолинейного участка стойки полуарки определяют из выражения

$$S_1 = a = 1,1 \text{ м;}$$

– длину дуги S_0 криволинейного участка определяют, используя выражение

$$S_0 = \frac{\pi \cdot r_0 \cdot \varphi^0}{180^0} = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 72^0}{180^0} = 5,02 \text{ м;}$$

– длину S_2 прямолинейного участка (ригеля) определяют, используя выражение

$$S_2 = \frac{l}{2} - \frac{r_0 \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos \beta} = \frac{30}{2} - \frac{X_3}{\cos 18^0} = \frac{30}{2} - \frac{4 \cdot \left(1 - \cos 36^0\right)}{\cos 18^0} = \frac{12,236}{0,9511} = 12,865 \text{ м.}$$

Поскольку длина ригеля разбита на три равных расчетных участка (участок между точками 3 и 4; участок – 4-5 и участок 5-Б, рис. 3.2 а), то длина каждого участка по горизонтали будет составлять $S' = 12,236/3 = 4,078 \text{ м}$.

Определяют координаты точек для характерных сечений (рис. 3.2 а):

$$X_A = 0;$$

$$Y_A = 0;$$

$$X_1 = 0;$$

$$Y_1 = a = 1,1 \text{ м;}$$

$$X_2 = r_0 \cdot \left(1 - \cos \varphi / 2\right) = 4 \cdot \left(1 - 0,809\right) = 0,764 \text{ м;}$$

$$Y_2 = a + r_0 \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = 1,1 + 4 \cdot 0,5878 = 3,45 \text{ м;}$$

$$X_3 = r_0 \cdot \left(1 - \cos \varphi\right) = 4 \cdot \left(1 - \cos 72^0\right) = 4 \cdot \left(1 - 0,309\right) = 2,764 \text{ м;}$$

$$Y_3 = a + r_0 \cdot \sin \varphi = 1,1 + 4 \cdot 0,9511 = 4,90 \text{ м;}$$

$$4 \cdot \left(1 - 0,309\right) = 2,764 \text{ м;}$$

$$X_4 = X_3 + S' = 2,76 + 4,078 = 6,842 \text{ м}; \quad Y_4 = f - 2 \cdot S' \cdot \operatorname{tg} \beta = 8,872 - 2 \cdot 4,087 \cdot 0,3249 = 6,228 \text{ м};$$

$$X_5 = X_4 + S' = 6,842 + 4,078 = 10,92 \text{ м}; \quad Y_5 = f - S' \cdot \operatorname{tg} \beta = 8,872 - 4,087 \cdot 0,3249 = 7,557 \text{ м};$$

$$X_B = 15,00 \text{ м}; \quad Y_B = 8,872 \text{ м}.$$

Для последующих проверок сечений вычисляют высоту поперечных сечений в характерных точках на геометрической оси:

- для точки А – $h_f = l_f = 500 \text{ мм}$;
- для точки 1 – $h_1 = 1000 \text{ мм}$;
- для точки 2 – $h_2 = h_r = 1000 \text{ мм}$;
- для точки 3 – $h_3 = h_r = 1000 \text{ мм}$;
- для точек 4 и 5 определяют из рисунка 3.3, используя следующие выражения:

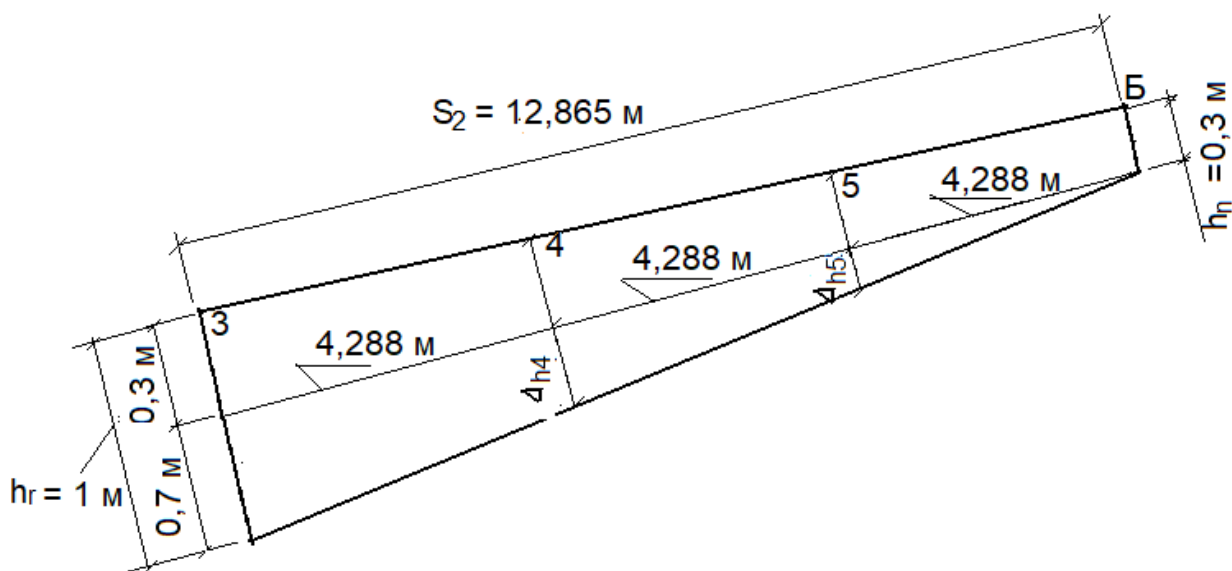


Рисунок 3.3 – Схема определения высоты поперечного сечения ригеля в точках 4 и 5

$$h_4 = h_n + \Delta_{h4} = 300 + 466,5 = 766,5 \text{ мм},$$

где значение $\Delta_{h4} = 466,5 \text{ мм}$, определенное из отношения соответствующих сторон подобных треугольников (рис. 3.5), т.е. $700/12865 = \Delta_{h4}/8578$.

Аналогичным образом определяют высоту сечения h_5 , т. е.

$$h_5 = h_n + \Delta_{h5} = 300 + 233,5 = 533,5 \text{ мм},$$

где значение $\Delta_{h5} = 233,5 \text{ мм}$, определенное из отношения $700/12865 = \Delta_{h5}/4288$.

Площади опорных площадок в опорном A_f и коньковом $A_{n,\beta}$ узлах рамы (рис. 3.1) и поперечного сечения A_n в коньковом узле определяют из выражений

$$A_{f1} = l_f \cdot b = 500 \cdot 150 = 7,5 \cdot 10^4 \text{ мм}^2, \quad A_n = h_n \cdot b = 300 \cdot 150 = 4,5 \cdot 10^4 \text{ мм}^2,$$

$$A_{n,\beta} = l_{n,\beta} \cdot b = 250 \cdot 150 = 3,75 \cdot 10^4 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения A_r , расположенного в криволинейной части (сечение 2 рис. 3.2а) рамы

$$A_r = h_r \cdot b = 1000 \cdot 150 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ мм}^2.$$

3.3 Определение характеристик материалов рамы

Согласно техническому заданию класс условий эксплуатации рам – 2. Рамы изготавливаются из однородной дощатоклееной древесины класса прочности GL 32h.

Для дощатоклееной древесины класса прочности GL 32h характеристические значения прочностных и упругих характеристик, а также объемного веса согласно таблице Б.2 приложения Б настоящего пособия составляют:

- прочность при растяжении вдоль волокон $f_{t,0,g,k} = 25,6$ МПа;
- прочность при растяжении поперек волокон $f_{t,90,g,k} = 0,5$ МПа;
- прочность при сжатии вдоль волокон $f_{c,0,g,k} = 32$ МПа;
- прочность при сжатии поперек волокон $f_{c,90,g,k} = 2,5$ МПа;
- прочность при изгибе $f_{m,g,k} = 32$ МПа;
- прочность при скалывании $f_{v,g,k} = 3,5$ МПа;
- среднее значение модуля упругости вдоль волокон $E_{0,g,mean} = 14200$ МПа;
- пятипроцентный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,g,05} = 11800$ МПа;
- среднее значение модуля сдвига $G_{g,mean} = 650$ МПа;
- плотность $\rho_{g,k} = 440$ кг/м³;
- объемный вес клееной древесины $\gamma = 4,2$ кН/м³.

3.4 Определение нагрузок

На раму в постоянной расчетной ситуации оказывают воздействие три вида нагрузок: постоянная – от объемного веса рамы и элементов покрытия с кровлей; переменные – снеговая и ветровая. Поскольку высота стойки рамы не более 4 м, ветровое воздействие не учитывают.

В соответствии с требованиями [7] характеристическое значение погонной нагрузки от объемного веса древесины рамы, стальных связей и их узлов на горизонтальную поверхность составляет $g_{k,1} = 1,02$ кН/м.

Характеристическое значение погонной равномерно распределенной постоянной нагрузки на горизонтальную поверхность от профнастила марки Н75-750-0,8 по ГОСТ 24045 $g_{s,k} = 0,0112$ кН/м² и прогонов ($\gamma_{w,C27} = 4,5$ кН/м³) определяем по формуле

$$q_{k,2} = q_{s,k} \cdot a + \gamma_{w,C28} \cdot \frac{b \cdot h \cdot a}{b_0} = 0,0112 \cdot 4,5 + 4,5 \frac{0,1 \cdot 0,18 \cdot 4,5}{1,5} = 0,293 \text{ кН / м.}$$

Поскольку г. Брест относится к снеговому району 1б. согласно [8], тогда характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт

$$s_k = 1,35 + 2,2 \cdot (A - 155) / 100 = 1,35 + 2,2 \cdot (141 - 155) / 100 = 1,042 \text{ кПа,}$$

где $A = 141$ м – отметка планировки над уровнем моря.

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие для $\mu_1 = 0,8$

$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,042 = 0,834 \text{ кПа.}$$

Характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие для $\mu_1 = 0,4$

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,042 = 0,417 \text{ кПа.}$$

3.5 Определение значений частных коэффициентов

В соответствии с требованиями [6] при проверках предельных состояний несущей способности (ULS) для постоянного воздействия $\gamma_G = 1,35$, а для переменного воздействия – $\gamma_Q = 1,5$. Для класса последствий СС2 значение коэффициента $k_{Fi} = 1,0$.

В соответствии с данными, приведенными в таблице А.2 приложения А настоящего пособия, для класса эксплуатации 2:

- значение коэффициента модификации при действии на раму только постоянной нагрузки $k_{mod,g} = 0,6$;
- значение коэффициента модификации при совместном действии на раму постоянной и среднесрочной (снеговой) нагрузок $k_{mod,q} = 0,8$.

3.6 Определение расчетных значений нагрузок и комбинаций нагружения

Расчетные значения нагрузок:

- постоянная равномерно распределенная нагрузка по всему пролету (нагружение 1);

$$g_d = \gamma_g \cdot k_F \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) = 1,35 \cdot 1 \cdot (1,02 + 0,29) = 1,772 \text{ кН / м.}$$

- переменная снеговая равномерно распределенная нагрузка по всему пролету (нагружение 2)

$$q_{d,s1} = k_{Fi} \cdot s_1 \cdot B \cdot \gamma_Q = 1,0 \cdot 0,834 \cdot 1,5 \cdot 4,5 = 5,63 \text{ кН / м.}$$

- переменная снеговая нагрузка с пониженным значением на половине (нагружение 3)

$$q_{k,s2} = k_{Fi} \cdot s_1 \cdot B \cdot \gamma_Q = 1,0 \cdot 0,417 \cdot 1,5 \cdot 4,5 = 2,81 \text{ кН / м.}$$

3.7 Статический расчет рамы

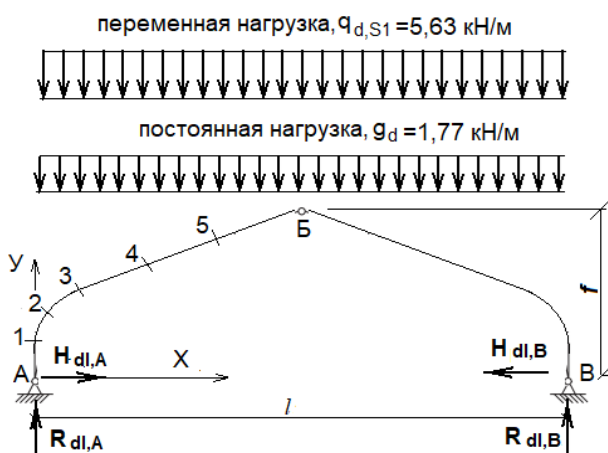
Статический расчет рамы выполняем с использованием правил строительной механики.

Поскольку высота стойки 4 м, то согласно п. 2.6.5 настоящего пособия нагрузку, обусловленную давлением ветра, не учитывают. Для выбора числа комбинаций нагружения рамы проанализируем расчетные значения постоянной g_d и переменной (снеговой) $q_{d,s1}$ и $q_{d,s2}$ нагрузок и соответствующие им значения коэффициентов модификации $k_{mod,g}$ и $k_{mod,q}$, используемых для определения расчетных значений прочности древесины при действии только постоянной и совместно постоянной и переменной (снеговой) нагрузок. В результате выполненного анализа установлено, что отношение $q_{d,s1}/g_d = 5,63/1,77 = 3,18$, а $k_{mod,g}/k_{mod,q} = 0,6/0,8 = 0,75$, т. е. рассматривать отдельно нагружение рамы только постоянной нагрузкой в качестве отдельной комбинации нагружения не имеет смысла. Таким образом, при проектировании данной трехшарнирной рамы следует рассмотреть две комбинации нагружения:

- комбинация (сочетание) нагружения I – сумма постоянной g_d и переменной (снеговой) $q_{d,s1}$, равномерно распределенной по длине пролета нагрузки (рис. 3.4 а);
- комбинация (сочетание) нагружения II – сумма постоянной g_d , равномерно распределенной по всему пролету нагрузки и переменной (снеговой) $q_{d,s1}$, равномерно распределенной на одной половине пролета и переменной (снеговой) $q_{d,s2}$, на второй половине пролета рамы нагрузки (рис. 3.4 б).

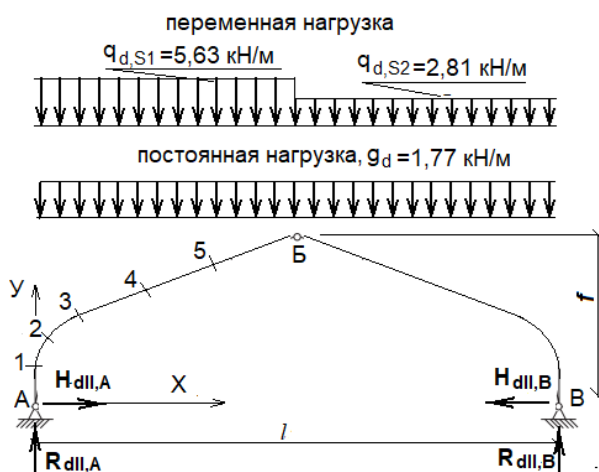
а)

комбинация (сочетание) нагружения I



б)

комбинация (сочетание) нагружения II



1, 2, 3, 4 и 5 – сечения в элементах рамы

а) – комбинация (сочетание) нагружения I – постоянная g_d + переменная $q_{d,S1}$ нагрузки;

б) – комбинация (сочетание) нагружения II – постоянная g_d + переменная $q_{d,S1}$ на левой половине и $q_{d,S2}$ на правой половине пролета рамы нагрузки

Рисунок 3.4 – Комбинации нагружения рамы

Для каждой комбинации (сочетания) нагружения определяют расчетные значения эффектов воздействий (внутренние усилия и реакции) в сечениях рамы.

Поскольку каждая комбинация нагружения состоит из постоянной и одной переменной (снеговой) нагрузок, то согласно п. 2.3.4 настоящего пособия значения коэффициентов ξ и ψ равны единице. Тогда расчетное значение общей нагрузки при проверках предельных состояний несущей способности определяют простым суммированием расчетных значений отдельных нагрузок, которое будет составлять:

– для комбинации нагружения I

$$q_{dI} = g_d + q_{d,S1} = 1,77 + 5,63 = 7,4 \text{ кН/м};$$

– для комбинации нагружения II

на левой половине пролета

$$q_{dII,1} = g_d + q_{d,S1} = 1,77 + 5,63 = 7,4 \text{ кН/м},$$

на правой половине пролета

$$q_{dII,2} = g_d + q_{d,S2} = 1,77 + 2,81 = 4,58 \text{ кН/м}.$$

Определяют расчетные величины реакций и внутренних усилий в сечениях рамы для комбинации нагружения I ($q_{dI} = 7,4 \text{ кН/м}$), используя формулы (2.12) – (2.17) настоящего пособия. Тогда:

– значения опорных реакций (рис. 3.4а)

$$R_{dI,A} = R_{dI,B} = \frac{q_{dI} \cdot l}{2} = \frac{7,4 \cdot 30}{2} = 111 \text{ кН};$$

– значение распора (рис. 3.4а)

$$H_{dI,A} = H_{dI,B} = \frac{q_{dI} \cdot l^2}{8 \cdot f} = \frac{7,4 \cdot 30^2}{8 \cdot 8,87} = 93,86 \text{ кН}.$$

Определяем значения изгибающих моментов и продольных усилий.

Сечение А.

$$M_{E,dl,A} = -H_{dl,A} \cdot Y_A = 93,86 \cdot 0 = 0;$$

$$N_{E,dl,A} = -R_{dl,A} = -111 \text{ кН};$$

$$V_{E,dl,A} = H_{dl,A} = 93,86 \text{ кН}.$$

Сечение 1.

$$M_{E,dl,1} = -H_{dl,A} \cdot Y_1 = 93,86 \cdot 1,1 = 103,25 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_{E,dl,1} = -R_{A,dl} = -111 \text{ кН};$$

$$V_{E,dl,1} = H_{dl,A} = 93,86 \text{ кН}.$$

Сечение 2.

Предварительно вычисляют величину угла $\beta_2 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 36^\circ = 54^\circ$, значения $\sin 54^\circ = 0,809$ и $\cos 54^\circ = 0,5878$. Значения координат точки 2: $X_2 = 0,764$ м; $Y_2 = 3,45$ м.

$$\begin{aligned} M_{E,dl,2} &= R_{dl,A} \cdot X_2 - \frac{q_{dl} \cdot X_2^2}{2} - H_{dl,A} \cdot Y_2 = \\ &= 111 \cdot 0,764 - \frac{7,4 \cdot 0,764^2}{2} - 93,86 \cdot 3,45 = -241,18 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{E,dl,2} &= -[V_{dl,b,2} \cdot \sin \beta_2 + H_{dl,A} \cdot \cos \beta_2] = -[(R_{dl,A} - q_{dl} \cdot X_2) \cdot \sin 54^\circ + H_{dl,A} \cos 54^\circ] = \\ &= -[(111 - 7,4 \cdot 0,764) \cdot 0,809 + 93,86 \cdot 0,5878] = -140,08 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{E,dl,2} &= V_{dl,b,2} \cdot \cos \beta_2 - H_{dl,A} \cdot \sin \beta_2 = (R_{dl,A} - q_{dl} \cdot X_2) \cdot \cos 54^\circ - H_{dl,A} \sin 54^\circ = \\ &= (111 - 7,4 \cdot 0,764) \cdot 0,5878 - 93,86 \cdot 0,809 = -14,01 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Сечение 3.

Предварительно вычисляют величину угла $\beta_3 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_3 = 2,764$ м; $Y_3 = 4,9$ м.

$$\begin{aligned} M_{E,dl,3} &= R_{dl,A} \cdot X_3 - \frac{q_{dl} \cdot X_3^2}{2} - H_{dl,A} \cdot Y_3 = \\ &= 111 \cdot 2,764 - \frac{7,4 \cdot 2,764^2}{2} - 93,86 \cdot 4,9 = -181,38 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{E,dl,3} &= -[V_{dl,b,3} \cdot \sin \beta_3 + H_{dl,A} \cdot \cos \beta_3] = -[(R_{dl,A} - q_{dl} \cdot X_2) \cdot \sin 18^\circ + H_{dl,A} \cos 18^\circ] = \\ &= -[(111 - 7,4 \cdot 2,764) \cdot 0,309 + 93,86 \cdot 0,9511] = -117,25 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{E,dl,3} &= V_{dl,b,3} \cdot \cos \beta_3 - H_{dl,A} \cdot \sin \beta_3 = (R_{dl,A} - q_{dl} \cdot X_2) \cdot \cos 18^\circ - H_{dl,A} \sin 18^\circ = \\ &= (111 - 7,4 \cdot 2,764) \cdot 0,9511 - 93,86 \cdot 0,309 = 57,12 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Сечение 4.

Предварительно вычисляют величину угла $\beta_4 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_4 = 6,842$ м; $Y_4 = 6,228$ м.

$$\begin{aligned} M_{E,dl,4} &= R_{dl,A} \cdot X_4 - \frac{q_{dl} \cdot X_4^2}{2} - H_{dl,A} \cdot Y_4 = \\ &= 111 \cdot 6,842 - \frac{7,4 \cdot 6,842^2}{2} - 93,86 \cdot 6,228 = 1,69 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{E,dl,4} &= -[V_{dl,b,4} \cdot \sin \beta_4 + H_{dl,A} \cdot \cos \beta_4] = -[(R_{dl,A} - q_{dl} \cdot X_4) \cdot \sin 18^\circ + H_{dl,A} \cos 18^\circ] = \\ &= -[(111 - 7,4 \cdot 6,842) \cdot 0,309 + 93,86 \cdot 0,9511] = -107,92 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{E,dl,4} &= V_{dl,b,4} \cdot \cos \beta_4 - H_{dl,A} \cdot \sin \beta_4 = (R_{dl,A} - q_{dl} \cdot X_4) \cdot \cos 18^\circ - H_{dl,A} \sin 18^\circ = \\ &= (111 - 7,4 \cdot 6,842) \cdot 0,9511 - 93,86 \cdot 0,309 = 28,41 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Сечение 5.

Предварительно вычисляют величину угла $\beta_5 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_5 = 10,92$ м; $Y_5 = 7,557$ м.

$$M_{E,dI,5} = R_{dI,A} \cdot X_5 - \frac{q_{dI} \cdot X_5^2}{2} - H_{dI,A} \cdot Y_5 =$$
$$= 111 \cdot 10,92 - \frac{7,4 \cdot 10,92^2}{2} - 93,86 \cdot 7,557 = 61,61 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_{E,dI,5} = -[V_{dI,b,5} \cdot \sin \beta_5 + H_{dI,A} \cdot \cos \beta_5] = -[(R_{dI,A} - q_{dI} \cdot X_5) \cdot \sin 18^\circ + H_{dI,A} \cos 18^\circ] =$$
$$-[(111 - 7,4 \cdot 10,92) \cdot 0,309 + 93,86 \cdot 0,9511] = -98,6 \text{ кН};$$

$$V_{E,dI,5} = V_{dI,b,5} \cdot \cos \beta_5 - H_{dI,A} \cdot \sin \beta_5 = (R_{dI,A} - q_{dI} \cdot X_5) \cdot \cos 18^\circ - H_{dI,A} \sin 18^\circ =$$
$$(111 - 7,4 \cdot 10,92) \cdot 0,9511 - 93,86 \cdot 0,309 = -0,29 \text{ кН}.$$

Сечение Б.

Предварительно вычисляют величину угла $\beta_B = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_B = 15$ м; $Y_5 = 8,872$ м.

$$M_{E,dII,B} = 0;$$

$$N_{E,dI,B} = -(V_{dI,b,A} \cdot \sin \beta_B + H_{dI,B} \cdot \cos \beta_B) = -[(R_{dI,A} - q_{dI,1} \cdot X_B) \cdot \sin 18^\circ + H_{dI,A} \cos 18^\circ] =$$
$$-[(111 - 7,4 \cdot 15) \cdot 0,309 + 93,86 \cdot 0,9511] =$$
$$= -(-10,58 + 72,25 + 72,25) = -(0 + 89,27) = -89,27 \text{ кН};$$

$$V_{E,dI,B} = V_{dI,b,A} \cdot \cos \beta_B - H_{dI,A} \cdot \sin \beta_B = (R_{dI,A} - q_{dI} \cdot X_B) \cdot \cos 18^\circ - H_{dI,A} \sin 18^\circ =$$
$$(111 - 7,4 \cdot 15) \cdot 0,9511 - 93,86 \cdot 0,309 = 111 - 111 - 29 = -29,47 \text{ кН}.$$

Расчетные величины реакций и внутренних усилий в сечениях рамы для комбинации нагружения II определяют по формулам (2.12) – (2.17) настоящего пособия. Тогда:

– значения опорных реакций (рис. 3.4б)

$$R_{dII,A} = \frac{(3 \cdot q_{dII,1} + q_{dII,2}) \cdot l}{8} = \frac{(3 \cdot 7,4 + 4,58) \cdot 30}{8} = 100,43 \text{ кН},$$

$$R_{dII,B} = \frac{(q_{dII,1} + 3 \cdot q_{dII,2}) \cdot l}{8} = \frac{(7,4 + 3 \cdot 4,58) \cdot 30}{8} = 79,275 \text{ кН};$$

– значение распора (рис. 3.4б)

$$H_{dII,A} = H_{dII,B} = \frac{(q_{dII,1} + q_{dII,2}) \cdot l^2}{16 \cdot f} = \frac{(7,4 + 4,58) \cdot 30^2}{16 \cdot 8,87} = 75,97 \text{ кН}.$$

Значения изгибающих моментов, продольных и поперечных усилий определяют (рис. 3.4 б):

в сечении А

$$M_{E,dII,A} = -H_{dII,A} \cdot Y_A = 75,97 \cdot 0 = 0,$$

$$N_{E,dII,A} = -R_{dII,A} = -100,43 \text{ кН},$$

$$V_{E,dII,A} = H_{dII,A} = 75,97 \text{ кН};$$

в сечении 1

$$M_{E,dll,1} = -H_{dll,A} \cdot Y_1 = -75,97 \cdot 1,1 = -83,57 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$N_{E,dll,1} = -R_{A,dll} = -100,43 \text{ кН};$$

$$V_{E,dll,1} = H_{dll,A} = 75,97 \text{ кН};$$

в сечении 2

Предварительно определяют величину угла $\beta_2 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 36^\circ = 54^\circ$, значения $\sin 54^\circ = 0,809$ и $\cos 54^\circ = 0,5878$. Значения координат точки 2: $X_2 = 0,764$ м; $Y_2 = 3,45$ м.

$$M_{E,dll,2} = R_{dll,A} \cdot X_2 - \frac{q_{dll,1} \cdot X_2^2}{2} - H_{dll,A} \cdot Y_2 =$$

$$= 100,43 \cdot 0,764 - \frac{7,4 \cdot 0,764^2}{2} - 75,97 \cdot 3,45 =$$

$$= 76,72 - 2,16 - 262,09 = -187,54 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_{E,dll,2} = V_{dll,b,2} \cdot \sin \beta_2 + H_{dll,A} \cdot \cos \beta_2 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_2) \cdot \sin 54^\circ + H_{dll,A} \cos 54^\circ =$$

$$(100,43 - 7,4 \cdot 0,764) \cdot 0,809 + 75,97 \cdot 0,5878 = 76,66 + 44,65 = -121,31 \text{ кН};$$

$$V_{E,dll,2} = V_{dll,b,2} \cdot \cos \beta_2 - H_{dll,A} \cdot \sin \beta_2 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_2) \cdot \cos 54^\circ - H_{dll,A} \sin 54^\circ =$$

$$(100,43 - 7,4 \cdot 0,764) \cdot 0,5878 - 75,97 \cdot 0,809 = 55,70 - 61,45 = -5,75 \text{ кН};$$

в сечении 3

Предварительно определяют величину угла $\beta_3 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_3 = 2,764$ м; $Y_3 = 4,9$ м.

$$M_{E,dll,3} = R_{dll,A} \cdot X_3 - \frac{q_{dll,1} \cdot X_3^2}{2} - H_{dll,A} \cdot Y_3 =$$

$$= 100,43 \cdot 2,764 - \frac{7,4 \cdot 2,764^2}{2} - 75,97 \cdot 4,9 =$$

$$= 277,56 - 28,26 - 372,25 = -122,95 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_{E,dll,3} = V_{dll,b,3} \cdot \sin \beta_3 + H_{dll,A} \cdot \cos \beta_3 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_2) \cdot \sin 18^\circ + H_{dll,A} \cos 18^\circ =$$

$$(100,43 - 7,4 \cdot 2,764) \cdot 0,309 + 75,97 \cdot 0,9511 = 24,70 + 72,25 = -96,95 \text{ кН};$$

$$V_{E,dll,3} = V_{dll,b,3} \cdot \cos \beta_3 - H_{dll,A} \cdot \sin \beta_3 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_2) \cdot \cos 18^\circ - H_{dll,A} \sin 18^\circ =$$

$$(100,43 - 7,4 \cdot 2,764) \cdot 0,9511 - 75,97 \cdot 0,309 = 76,06 - 23,47 = 52,58 \text{ кН};$$

в сечении 4

Предварительно определяют величину угла $\beta_4 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_4 = 6,842$ м; $Y_4 = 6,228$ м.

$$M_{E,dll,4} = R_{dll,A} \cdot X_4 - \frac{q_{dll,1} \cdot X_4^2}{2} - H_{dll,A} \cdot Y_4 =$$

$$= 100,43 \cdot 6,842 - \frac{7,4 \cdot 6,842^2}{2} - 75,97 \cdot 6,228 =$$

$$= 687,07 - 173,20 - 413,14 = 100,73 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_{E,dll,4} = V_{dll,b,4} \cdot \sin \beta_4 + H_{dll,A} \cdot \cos \beta_4 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_4) \cdot \sin 18^\circ + H_{dll,A} \cos 18^\circ =$$

$$(100,43 - 7,4 \cdot 6,842) \cdot 0,309 + 75,97 \cdot 0,9511 = 13,38 + 72,25 = -87,63 \text{ кН};$$

$$V_{E,dll,4} = V_{dll,b,4} \cdot \cos \beta_4 - H_{dll,A} \cdot \sin \beta_4 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_4) \cdot \cos 18^\circ - H_{dll,A} \sin 18^\circ =$$

$$(100,43 - 7,4 \cdot 6,842) \cdot 0,9511 - 75,97 \cdot 0,309 = 46,95 - 23,47 = -20,47 \text{ кН};$$

в сечении 5

Предварительно определяют величину угла $\beta_5 = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_5 = 10,92$ м; $Y_5 = 7,557$ м.

$$M_{E,dll,5} = R_{dll,A} \cdot X_5 - \frac{q_{dll,1} \cdot X_5^2}{2} - H_{dll,A} \cdot Y_5 =$$
$$= 100,43 \cdot 10,92 - \frac{7,4 \cdot 10,92^2}{2} - 75,95 \cdot 7,557 =$$
$$= 1096,58 - 441,2 - 574,11 = 81,27 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N_{E,dll,5} = V_{dll,b,5} \cdot \sin \beta_5 + H_{dll,A} \cdot \cos \beta_5 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_5) \cdot \sin 18^\circ + H_{dll,A} \cos 18^\circ =$$
$$(100,43 - 7,4 \cdot 10,92) \cdot 0,309 + 75,97 \cdot 0,9511 = 6,06 + 72,25 = -78,3,4 \text{ кН};$$

$$V_{E,dll,5} = V_{dll,b,5} \cdot \cos \beta_5 - H_{dll,A} \cdot \sin \beta_5 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_5) \cdot \cos 18^\circ - H_{dll,A} \sin 18^\circ =$$
$$(100,43 - 7,4 \cdot 10,92) \cdot 0,9511 - 75,97 \cdot 0,309 = 18,65 - 23,47 = -4,817 \text{ кН};$$

в сечении Б

Предварительно определяют величину угла $\beta_B = 90^\circ - \varphi/2 = 90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$, значения $\sin 18^\circ = 0,309$ и $\cos 18^\circ = 0,9511$. Значения координат точки 2: $X_B = 15$ м; $Y_5 = 8,872$ м.

$$M_{E,dll,B} = 0;$$

$$N_{E,dll,B} = V_{dll,b,B} \cdot \sin \beta_5 + H_{dll,A} \cdot \cos \beta_5 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_B) \cdot \sin 18^\circ + H_{dll,A} \cos 18^\circ =$$
$$(100,43 - 7,4 \cdot 15) \cdot 0,309 + 75,97 \cdot 0,9511 = -10,58 + 72,25 + 72,25 = -61,667 \text{ кН};$$

$$V_{E,dll,B} = V_{dll,b,A} \cdot \cos \beta_5 - H_{dll,A} \cdot \sin \beta_5 = (R_{dll,A} - q_{dll,1} \cdot X_B) \cdot \cos 18^\circ - H_{dll,A} \sin 18^\circ =$$
$$(100,43 - 7,4 \cdot 15) \cdot 0,9511 - 75,97 \cdot 0,309 = -10,58 - 23,47 = -34,05 \text{ кН}.$$

Расчетные значения усилий в сечениях элементов рамы для соответствующих комбинаций нагружения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Расчетные значения усилий в сечениях элементов рамы

№ сечения и координаты, м			Комбинация (сочетание) нагружения I			Комбинация (сочетание) нагружения II		
№	X	Y	$M_{E,dll,i}$, кН м	$N_{E,dll,i}$, кН	$V_{E,dll,i}$, кН	$M_{E,dll,i}$, кН м	$N_{E,dll,i}$, кН	$V_{E,dll,i}$, кН
A	0	0	0	-111	-93,86	0	-100,43	-75,97
1	0	1,1	-103,25	-111	-93,86	-83,57	-100,43	-75,97
2	0,764	3,45	-241,18	-140,08	-14,01	-187,54	-121,31	-5,75
3	2,764	4,90	-181,38	-117,25	57,12	-122,95	-96,95	52,58
4	6,842	6,228	1,69	-107,92	28,41	100,73	-87,63	-20,47
5	10,92	7,557	61,61	-98,6	-0,29	81,27	-78,3	-4,82
Б	15	8,87	0	-89,27	-29,47	0	-61,67	-34,05
В	30	0	0	-111	-93,86	0	-79,25	75,97

3.8 Проверка предельных состояний несущей способности рамы

3.8.1 Проверка устойчивости прямолинейных участков ригеля из плоскости рамы

Проверку устойчивости элементов рамы из плоскости выполняют в соответствии с п. 2.6.6.8.1. Данную проверку выполняют для поперечных сечений 4 и 5 ригеля рамы (рис. 3.4).

Параметры поперечных сечений ригеля, а также действующие в них значения внутренних усилий приведены в таблице 3.2.

Расчетная длина элементов для всех проверяемых сечений $l_{0,z} = 1500$ мм (продольный изгиб относительно оси Z).

Таблица 3.2 – Параметры сечений ригеля и внутренние усилия

№ сечения i	Параметры сечения i $b_j \times h_j$, мм	Комбинация (сочетание) нагружения (рис. 3.4)			
		I		II	
		Расчетные значения внутренних усилий в сечениях ригеля			
		$M_{E,dI}$, кН м	$N_{E,dI}$, кН	$M_{E,dII}$, кН м	$N_{E,dII}$, кН
4	150x767	1,69	-107,92	100,73	-87,63
5	150x534	61,61	-98,6	81,27	-78,3

При проверке устойчивости ригеля из плоскости наиболее невыгодной является комбинация нагружения II (см. таблицу 3.2).

Поскольку сечение ригеля изменяется по длине, проверку выполняют как для сечения 4, так и сечения 5. Первоначально для каждого j -го сечения комбинации (сочетания) нагружения II определяют расчетные значения напряжений $\sigma_{m,y,dII,i}$ и $\sigma_{c,0,dII,i}$, используя следующие выражения:

$$\sigma_{c,0,dII,i} = \frac{N_{E,dII,i}}{b \cdot h_i}, \quad \sigma_{m,y,dII,i} = \frac{6 \cdot M_{E,dII,i}}{b \cdot h_i^2}.$$

Тогда для сечений 4 и 5

$$\sigma_{c,0,dII,4} = \frac{N_{E,dII,4}}{b \cdot h_4} = \frac{87,63 \cdot 10^3}{150 \cdot 767} = 0,76 \text{ МПа}; \quad \sigma_{m,y,dII,4} = \frac{6 \cdot M_{E,dII,4}}{b \cdot h_4^2} = \frac{6 \cdot 100,73 \cdot 10^6}{150 \cdot 767^2} = 6,85 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{c,0,dII,5} = \frac{N_{E,dII,5}}{b \cdot h_5} = \frac{78,3 \cdot 10^3}{150 \cdot 534} = 0,98 \text{ МПа}; \quad \sigma_{m,y,dII,5} = \frac{6 \cdot M_{E,dII,5}}{b \cdot h_5^2} = \frac{6 \cdot 81,27 \cdot 10^6}{150 \cdot 534^2} = 11,4 \text{ МПа}.$$

Анализируя значения напряжений в сечениях ригеля 4 и 5, можно сделать вывод, что расчетным сечением является сечение 5.

Для проверяемого сечения 5 определяют относительную (приведенную) гибкость $\lambda_{rel,z}$, используя следующие выражения:

$$\sigma_{crit,z,5} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_{z,5}}{(b \cdot h_5) \cdot (l_{0,z})^2} = \frac{3,14^2 \cdot 11800 \cdot \frac{150^3 \cdot 534}{12}}{(150 \cdot 534) \cdot (1500)^2} = 96,95 \text{ Н / мм}^2,$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,q,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{32}{96,95}} = 0,57.$$

Значение коэффициента k_z , определяют по формуле (7.11) [5]

$$k_z = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (0,57 - 0,3) + 0,57^2 \right] = 0,67.$$

Значение коэффициента $k_{c,z}$ определяют из выражение

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,2 + \sqrt{0,67^2 - 0,57^2}} = 0,64.$$

Рассчитывают значения критических напряжений $\sigma_{m,crit,j}$ от изгиба для рассматриваемого сечения ригеля по формуле (7.38) [5].

Согласно [5] (таблица 7.1) определяют эффективную l_{ef} длину рассчитываемого участка ригеля длиной $l = 1500$ мм для сечения 5

$$l_{ef,5} = 0,78 \cdot l + 2 \cdot h_5 = 0,78 \cdot 1500 + 2 \cdot 534 = 2238 \text{ мм.}$$

Значения критического напряжения в сечении 5 определяют, используя формулы (2.22), (2.23) и (2.24) настоящего пособия. Предварительно определяют момент инерции сечения 5 относительно оси z и момент инерции сечения 5 при кручении, используя выражения:

$$I_{z,5} = \frac{b^3 \cdot h_5}{12} = \frac{150^3 \cdot 534}{12} = 150,1875 \cdot 10^6 \text{ мм}^4;$$

$$W_{y,5} = \frac{b \cdot h_5^2}{6} \cdot k = \frac{150 \cdot 534^2}{6} = 7,1289 \cdot 10^6 \text{ мм}^4;$$

$$I_{tor,5} = k \cdot h_5 \cdot b^3 = 0,275 \cdot 534 \cdot 150^3 = 495,61875 \cdot 10^6 \text{ мм}^4,$$

здесь k – коэффициент, принимаемый из таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Значения коэффициента k для определения момента инерции прямоугольного сечения при кручении

h/b	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	∞
k	0,208	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313	1/3

Тогда

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_{z,5} \cdot G_{05} \cdot I_{tor}}}{l_{0,z} \cdot W_{y,5}} = \frac{3,14 \cdot \sqrt{11800 \cdot 150187500 \cdot 540 \cdot 495618750}}{2238 \cdot 7128900} = 133 \text{ МПа.}$$

Рассчитывают значения приведенной гибкости $\lambda_{rel,m,5}$ для сечения 5, используя выражение

$$\lambda_{rel,m,5} = \sqrt{\frac{f_{m,q,k}}{\sigma_{m,crit,5}}} = \sqrt{\frac{32}{133}} = 0,49.$$

При значениях $\lambda_{rel,m,j} < 0,75$ согласно п. 7.3.6 [5] для рассчитываемого сечения значение $k_{crit,m} = 1$.

Проверку устойчивости прямолинейных участков ригеля из его плоскости при $\lambda_{rel,z} = 0,57$, что больше 0,3, а $\lambda_{rel,m,5} < 0,75$, выполняют на соблюдении следующих условий:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1;$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1.$$

Поскольку высота поперечного сечение ригеля отличается от стандартной $h = 600$ мм, то для выполнения проверки приведенных выше условий предварительно определяют расчетное значение прочности древесины класса GL 32h в сечении 5, используя выражения:

$$k_{h5} = \left(\frac{600}{h_5} \right)^{0,1} = \left(\frac{600}{534} \right)^{0,1} = 1,01;$$

$$f_{m,y,dII,5} = \frac{k_{mod,II} \cdot k_{sys} \cdot k_{h5} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 32}{1,25} = 20,68 \text{ МПа}.$$

Проверяют соблюдение условий:

$$\frac{\sigma_{c,0,dII,5}}{k_{c,z5} \cdot f_{c,0,dII,5}} + \frac{\sigma_{m,y,dII,5}}{f_{m,dII,5}} = \frac{0,98}{0,64 \cdot 20,48} + \frac{11,4}{20,68} = 0,63 < 1 - \text{условие выполнено};$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,dII,5}}{k_{crit} \cdot f_{m,dII,5}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,dII,5}}{k_{c,z5} \cdot f_{c,0,dII,5}} \left(\frac{11,4}{1 \cdot 20,68} \right)^2 + \frac{0,98}{0,64 \cdot 20,48} = 0,38 < 1 - \text{условие выполнено}.$$

Таким образом, устойчивость ригеля из плоскости рамы и прочность древесины в сечениях на длине его прямолинейного участка обеспечены.

3.8.2 Проверка устойчивости криволинейного участка рамы из ее плоскости

Данную проверку выполняют в соответствии с рекомендациями п. 2.6.6.8.2 настоящего пособия.

В соответствии с принятым конструктивным решением распорки на криволинейных участках рамы в продольном направлении здания отсутствуют. Тогда расчетная длина $l_{0,z} = S_0$, где S_0 – длина дуги криволинейного участка (рис. 3.2а).

В данном примере $l_{0,z} = 5020$ мм.

Наиболее нагруженным по длине криволинейного участка является сечение 2 при комбинации нагрузок соответствующей сочетанию I (см. таблицу 3.1). В данном сечении $N_{E,dI,2} = -140,08$ кН, а $M_{E,dI,1} = -241,18$ кНм.

Для выполнения проверки предварительно в сечении 2 определяют расчетные значения напряжений $\sigma_{c,0,dI,2}$ и $\sigma_{m,dI,2}$, используя следующие выражения:

$$\sigma_{c,0,dI,2} = \frac{N_{E,dI,2}}{b \cdot h_2} = \frac{140,08 \cdot 10^3}{150 \cdot 1000} = 0,94 \text{ МПа}, \quad \sigma_{m,dI,2} = \frac{6 \cdot M_{E,dI,2}}{b \cdot h_2^2} = \frac{6 \cdot 241,18 \cdot 10^6}{150 \cdot 1000^2} = 9,65 \text{ МПа}.$$

Для сжатого стержня расчетной длиной $l_{0,z} = 5020$ мм определяют значение критического $\sigma_{crit,z}$ напряжения. Предварительно определяют значение момента инерции поперечного сечения 2, используя выражение

$$I_{z,2} = \frac{b^3 \cdot h_2}{12} = \frac{150^3 \cdot 1000}{12} = 281,25 \cdot 10^6 \text{ мм}^4.$$

Тогда

$$\sigma_{crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_{z,2}}{b \cdot h_2 \cdot (l_{0,z})^2} = \frac{3,14^2 \cdot 11800 \cdot 281,25 \cdot 10^6}{150 \cdot 1000 \cdot 5020^2} = 8,66 \text{ МПа}.$$

Приведенная гибкость расчетного участка будет составлять

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,q,k}}{\sigma_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{32}{8,67}} = 1,92.$$

Определяют значение коэффициента k_z , используя выражение

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,92 - 0,3) + 1,92^2] = 2,42.$$

Коэффициент продольного изгиба $k_{c,z}$ определяют из выражения

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,42 + \sqrt{2,42^2 - 1,92^2}} = 0,23.$$

Значение критического напряжения при изгибе с учетом кривизны стержня определяют по формуле (2.22) настоящего пособия, определив предварительно значение k_v , используя для этого следующее выражение:

$$k_v = \frac{b^3 \cdot h_2}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h_r}\right) = \frac{150^3 \cdot 1000}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{150}{1000}\right) = 10186,865 \cdot 10^6 \text{ мм}^4.$$

Тогда

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\frac{\pi}{I_{0,z}} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{05} \cdot k_v} + \frac{E_{0,05} \cdot I_z + G_{05} \cdot k_v}{2 \cdot r_0}}{W_y} =$$

$$\frac{\frac{3,14}{5020} \cdot \sqrt{11800 \cdot 281250000 \cdot 540 \cdot 1018687500} + \frac{11800 \cdot 281250000 + 540 \cdot 1018687500}{2 \cdot 4000}}{\frac{150 \cdot 1000^2}{6}} =$$

$$= 52,2 \text{ МПа}.$$

Значение приведенной $\lambda_{rel,m}$ гибкости определяют из выражения:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,q,k}}{\sigma_{cr,m}}} = \sqrt{\frac{32}{52,2}} = 0,78.$$

Согласно п.7.3.6 [5] для $0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 = 0,78$, значение коэффициента k_{crit} определяют из выражения

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,78 = 0,975.$$

Поскольку отношение $r_{in} / t_{lam} = 3500 / 20 = 175 < 240$, то согласно п. 10.2.8 [5] при определении расчетных значений прочности древесины в зоне криволинейных участков необходимо учитывать величину внутренних напряжений от изгиба ламелей (досок), путем применения понижающего коэффициента k_r , определяемого из выражения

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot r_{in} / t = 0,76 + 0,001 \cdot 3500 / 20 = 0,935,$$

где $r_{in} = r - 0,5 \cdot h_r$ – внутренний радиус кривизны криволинейного участка.

В соответствии с требованиями п. 7.5.4 и п. 7.5.2 [5] для комбинации нагружения (сочетания) I в сечении 2 проверяют соблюдение двух условий:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,dI,2}}{k_{crit} \cdot k_r \cdot f_{m,y,dI,2}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,dI,2}}{k_{c,z2} \cdot f_{c,0,dI,2}} = \left(\frac{9,65}{0,975 \cdot 0,935 \cdot 20,68} \right)^2 + \frac{0,94}{0,23 \cdot 20,48} =$$

$$= 0,262 + 0,2 = 0,462 < 1 \text{ – условие выполняется;}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,dI,2}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,q,dI,2}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,dI,2}}{k_r \cdot f_{m,y,dI,2}} = \frac{0,94}{0,23 \cdot 20,48} + 0,7 \cdot \frac{9,65}{0,935 \cdot 20,68} = 0,2 + 0,349 = 0,549 < 1 \text{ –}$$

условие выполняется.

В результате выполненных проверок установлено, что для принятых геометрических параметров поперечных сечений рамы:

- устойчивость ее элементов из плоскости обеспечена;
- прочность древесины в сечениях элементов обеспечена.

3.8.3 Проверка устойчивости рамы в плоскости ее изгиба

Из предыдущих расчетов в подразделе 3.8.2 было установлено, что потери устойчивости рамы из ее плоскости не произойдет (элементы рамы в поперечном направлении раскреплены) и прочность древесины в рассмотренных сечениях обеспечена. Проверку устойчивости рамы в плоскости ее изгиба выполняют, как сжато-изгибаемых элементов в соответствии с правилами подраздела 7.5 [5].

Расчетную длину полурамы определяют из выражения

$$l_{ef} = 1,25 \cdot a_s = 1,25 \cdot (S_1 + S_0 + S_2) = 1,25 \cdot 18700 =$$

$$1,25 \cdot (1,1 + 5,02 + 12,85) = 1,25 \cdot 18,97 = 23,713 \text{ м} = 23713 \text{ мм}.$$

Наиболее нагруженным является сечение 2 (см. табл. 3.1) для комбинации нагружения I, где $N_{E,dI,2} = -140,08$ кН и $M_{E,dI,2} = -241,18$ кН·м.

Определяют значение критического напряжения в поперечном сечении полурамы относительно оси y , как сжатого стержня расчетной длиной $l_{ef} = 23713$ мм, используя выражение:

$$\sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_{y,2}}{(b \cdot h_2) \cdot (l_{ef,y})^2} = \frac{3,14^2 \cdot 11800 \cdot \frac{1000^3 \cdot 150}{12}}{(150 \cdot 1000) \cdot 23713^2} = 17,24 \text{ МПа}.$$

Определяют приведенную гибкость

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,q,k}}{\sigma_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{32}{17,24}} = 1,36.$$

Определяют значение коэффициента k_y , используя выражение

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,36 - 0,3) + 1,36^2 \right] = 1,48.$$

Коэффициент $k_{c,z}$ определяют из выражения

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y \cdot \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,48 + \sqrt{1,48^2 - 1,36^2}} = 0,48.$$

Проверяют соблюдение условия

$$\frac{\sigma_{c,0,dl,2}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,dl,2}} + \frac{\sigma_{m,y,dl,2}}{k_r \cdot f_{m,y,dl,2}} = \frac{0,94}{0,48 \cdot 20,48} + \frac{9,65}{0,935 \cdot 20,48} = 0,096 + 0,503 = 0,6 < 1 - \text{условие}$$

соблюдается.

Исходя из результатов выполненных проверок принятые размеры поперечных сечений являются не экономичными, поскольку напряжения, возникающие в них, значительно ниже расчетных значений прочности древесины.

Принимаем высоту поперечного сечения рамы в карнизном узле $h_{r1} = 800$ мм.

Тогда для вновь принятого поперечного сечения ($b \times h_{r1} = 150$ мм x 800 мм) расчетные значения напряжений в сечении 2 будут составлять:

$$\sigma_{c_1,0,dl,2} = \frac{N_{E,dl,2}}{b \cdot h_{2_1}} = \frac{140,08 \cdot 10^3}{150 \cdot 800} = 1,17 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{m_1,dl,2} = \frac{6 \cdot M_{E,dl,2}}{b \cdot h_{2_1}^2} = \frac{6 \cdot 241,18 \cdot 10^6}{150 \cdot 800^2} = 17,73 \text{ МПа}.$$

Для принятого сечения выполняем проверку устойчивости криволинейного участка рамы из ее плоскости.

Определяют значение момента инерции для вновь принятого поперечного сечения 2, используя выражение

$$I_{z,2_1} = \frac{b^3 \cdot h_{2_1}}{12} = \frac{150^3 \cdot 800}{12} = 225 \cdot 10^6 \text{ мм}^4.$$

Тогда

$$\sigma_{crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_{z,2_1}}{b \cdot h_{2_1} \cdot (I_{0,z})^2} = \frac{3,14^2 \cdot 11800 \cdot 225 \cdot 10^6}{150 \cdot 800 \cdot 5020^2} = 8,65 \text{ МПа}.$$

Приведенная гибкость расчетного участка будет составлять

$$\lambda_{rel_1,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,q,k}}{\sigma_{cr_1,z}}} = \sqrt{\frac{32}{8,65}} = 1,92.$$

Определяют значение коэффициента k_z , используя выражение

$$k_{z_1} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel_1,z} - 0,3) + \lambda_{rel_1,z}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,92 - 0,3) + 1,92^2 \right] = 2,42.$$

Коэффициент продольного изгиба $k_{c1,z}$ определяют из выражения

$$k_{c_1,z} = \frac{1}{k_{z_1} + \sqrt{k_{z_1}^2 - \lambda_{rel_1,z}^2}} = \frac{1}{2,42 + \sqrt{2,42^2 - 1,92^2}} = 0,23.$$

Определяют значение критического напряжения при изгибе

$$k_{v_1} = \frac{b^3 \cdot h_{2_1}}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h_{1r}} \right) = \frac{150^3 \cdot 800}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{150}{800} \right) = 793,6875 \cdot 10^6 \text{ мм}^4.$$

Тогда

$$\sigma_{m,crit_1} = \frac{\frac{\pi}{I_{0,z}} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_{z_1} \cdot G_{05} \cdot k_{v_1}} + \frac{E_{0,05} \cdot I_{z_1} + G_{05} \cdot k_{v_1}}{2 \cdot r_0}}{W_{y_1}} =$$

$$\frac{3,14}{5020} \cdot \frac{\sqrt{11800 \cdot 225000000 \cdot 540 \cdot 793687500} + \frac{11800 \cdot 225000000 + 540 \cdot 793687500}{2 \cdot 4000}}{\frac{150 \cdot 800^2}{6}} =$$

= 65,8 МПа.

Значение приведенной $\lambda_{rel,m}$ гибкости определяют из выражения:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,q,k}}{\sigma_{m,cr_1}}} = \sqrt{\frac{32}{65,8}} = 0,697.$$

Согласно п.7.3.6 [5] для $0,75 < \lambda_{rel,m}$, значение коэффициента $k_{crit} = 1$.

Поскольку отношение $r_{in}/t_{lam} = (4000 - 400) / 20 = 180 < 240$, то согласно п. 10.2.8 [5] при определении расчетных значений прочности древесины в зоне криволинейных участков необходимо учитывать величину внутренних напряжений от изгиба ламелей (досок) путем применения понижающего коэффициента k_r , определяемого из выражения

$$k_r = 0,76 + 0,001 \cdot r_{in} / t = 0,76 + 0,001 \cdot 3600 / 20 = 0,94.$$

Для комбинации нагружения (сочетания) I в откорректированном сечении 2 проверяют соблюдение двух условий:

$$\left(\frac{\sigma_{m_1,y,d1,2}}{k_{crit_1} \cdot k_r \cdot f_{m,y,d1,2}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c_1,0,d1,2}}{k_{c_1,z2} \cdot f_{c,0,d1,2}} = \left(\frac{15,73}{1 \cdot 0,94 \cdot 20,48} \right)^2 + \frac{1,17}{0,23 \cdot 20,48} = 0,667 + 0,25 = 0,92 < 1 -$$

условие выполняется;

$$\frac{\sigma_{c_1,0,d1,2}}{k_{c_1,z} \cdot f_{c,0,q,d1,2}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m_1,y,d1,2}}{k_r \cdot f_{m,y,d1,2}} = \frac{1,17}{0,23 \cdot 20,48} + 0,7 \cdot \frac{15,73}{0,94 \cdot 20,48} = 0,25 + 0,57 = 0,82 < 1 -$$

условие выполняется.

Выполняем проверку устойчивости рамы в плоскости ее изгиба для вновь принятого сечения рамы в карнизном узле.

Определяют значение критического напряжения в поперечном сечении полурамы относительно оси y, как сжатого стержня расчетной длиной $l_{ef} = 23713$ мм, используя выражение:

$$\sigma_{crit_1,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_{y_1,2}}{(b \cdot h_{1,2}) \cdot (l_{ef,y})^2} = \frac{3,14^2 \cdot 11800 \cdot \frac{800^3 \cdot 150}{12}}{(150 \cdot 800) \cdot 23713^2} = 11,03 \text{ МПа.}$$

Определяют приведенную гибкость

$$\lambda_{rel_1,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,q,k}}{\sigma_{cr_1,y}}} = \sqrt{\frac{32}{11,03}} = 1,7.$$

Определяют значение коэффициента k_y , используя выражение

$$k_{y_1} = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,1 \cdot (1,7 - 0,3) + 1,7^2 \right] = 1,98.$$

Коэффициент $k_{c,z}$ определяют из выражения

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_{y_1} \cdot \sqrt{k_{y_1}^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,98 + \sqrt{1,98^2 - 1,7^2}} = 0,335.$$

Проверяют соблюдение условия для принятого сечения карнизного узла

$$\frac{\sigma_{c,0,dI,2}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,dI,2}} + \frac{\sigma_{m,y,dI,2}}{k_{r_1} \cdot f_{m,y,dI,2}} = \frac{1,17}{0,335 \cdot 20,48} + \frac{15,73}{0,94 \cdot 20,48} = 0,17 + 0,817 = 0,987 < 1 - \text{усло-}$$

вие соблюдается.

В результате выполненных проверок устойчивость рамы и прочность древесины в наиболее нагруженных сечениях обеспечены.

Таким образом, окончательно принимают размеры поперечного сечения криволинейного участка рамы $b \times h_r = 150 \text{ мм} \times 800 \text{ мм}$.

3.9 Конструирование и расчет узлов рамы

3.9.1 Опорный узел рамы

3.9.1.1 Проверка сопротивления опорной площадки башмака при сжатии древесины и сопротивления поперечных сечений при сдвиге древесины в узлах рамы

Проверку сопротивлений опорной площадки сжатию и сдвигу поперечного сечения узла рамы (рис. 3.1) действию внутренних усилий выполняют в соответствии с рекомендациями п. 2.6.6.5 настоящего пособия для комбинаций нагружения I и II.

Первоначально определяют расчетные значения прочности древесины при сжатии и сдвиге вдоль волокон. Поскольку нагрузки (постоянная + снеговая нагрузки), входящие в комбинации нагружения I и II, относятся к одним и тем же классам продолжительности действия, то значения коэффициентов модификации, используемых при определении расчетных значений прочности древесины, будут иметь одинаковые значения.

В соответствии с п. 2.4.2 настоящего пособия расчетные значения прочности дощатоклееной древесины класса прочности GL 32 h элементов рамы при сдвиге и сжатии вдоль волокон для комбинаций нагружения I и II определяют, используя выражения

$$f_{c,0,g,dI} = f_{c,0,g,dII} = \frac{k_{mod,I} \cdot f_{c,0,g,k} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 32 \cdot 1}{1,25} = 20,48 \text{ МПа},$$

$$f_{v,g,dI} = f_{v,g,dII} = \frac{k_{mod,I} \cdot f_{v,g,k} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 3,5 \cdot 1}{1,25} = 2,24 \text{ МПа},$$

здесь $k_{mod,I}$ и $k_{mod,II}$ – коэффициент модификации, принимаемый из таблицы А.2 приложения А настоящего пособия;

$f_{c,0,g,k}$ и $f_{v,g,k}$ – соответственно характеристические значения прочности клееной древесины класса прочности GL 32h при сжатии и сдвиге вдоль волокон, принимаемые из таблицы Б.2 приложения Б настоящего пособия;

k_{sys} – коэффициент, принимаемый равным единице;

γ_M – частный коэффициент свойств древесины; принимают по таблице А.1 приложения А настоящего пособия.

Определение расчетных значений $N_{c,R,d}$ сопротивлений опорных площадок под опорной плитой башмака при сжатии дощатоклееной древесины (рис. 3.1) и сопротивления $V_{R,d}$ сдвигу вдоль волокон в рассматриваемых сечениях (таблица 3.1) узла рамы выполняются по формулам:

$$N_{c,R,dI,A} = N_{c,R,dII,A} = f_{c,0,gm,dl} \cdot b \cdot l_f = 20,48 \cdot 500 \cdot 150 = 1536 \text{ кН} > (N_{c,EdII,A} = 111 \text{ кН}; N_{c,EdI,A} = 100,43 \text{ кН}) \quad \text{— условие выполнено,}$$

$$V_{R,dI,A} = V_{R,dII,A} = \frac{2}{3} \cdot f_{v,g,dl} \cdot b \cdot l_f \cdot k_{cr} = \frac{2}{3} \cdot 2,24 \cdot 500 \cdot 150 \cdot 0,67 = 75,04 \text{ кН} < V_{E,dII,A} = 93,86 \text{ кН} \quad \text{—}$$

условие не выполнено.

Увеличиваем длину l_f опорной площадки до 650 мм. Тогда значение расчетного сопротивления $V_{R,dI,A}$ поперечного сечения сдвигу относительно нейтральной оси будет составлять:

$$V_{R,dI,A} = V_{R,dII,A} = \frac{2}{3} \cdot f_{v,g,dII} \cdot l_{f1} \cdot b \cdot k_{cr} = \frac{2}{3} \cdot 2,24 \cdot 650 \cdot 150 \cdot 0,67 = 97,55 \text{ кН} > V_{E,dI,A} = 93,86 \text{ кН} \quad \text{—}$$

условие выполнено.

Таким образом, окончательно принимают размеры опорной площадки стойки рамы в опорном узле $b \times h_f = 150 \text{ мм} \times 650 \text{ мм}$ (рис. 3.5).

3.9.1.2 Определение размеров опорной плиты

Максимальное расчетное значение нормального усилия $N_{E,d} = -111 \text{ кН}$ и максимальное усилие сдвига $V_{E,dIV} = 93,96 \text{ кН}$ возникает в опорном узле А при комбинации нагружения I (таблица 3.1). Данные значения принимаются за расчетные усилия при выполнении проверок стальных элементов опорного узла рамы.

Для опорного узла применяем прокат из стали С255 по [18].

Принимаем фундамент из бетона класса С12/15. Расчетная прочность бетона на смятие определяем по формуле 8.134 [19]

$$f_{cud} = \omega_u \cdot f_{cd} \cdot \alpha_u = 1,2 \cdot 7,5 \cdot \frac{3}{4} = 6,75 \text{ МПа,}$$

где f_{cd} – расчетная прочность бетона на сжатие, $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{12}{1,6} = 7,5 \text{ МПа}$;

$\gamma_c = 1,6$ – частный коэффициент по бетону (п. 8.4.1.2 [19]);

α_u – коэффициент, зависящий от распределения напряжений по площади смятия (формула 8.133 [19]). При равномерном распределении напряжений под плитой

$$\frac{\sigma_{u,min}}{\sigma_{u,max}} = 1, \text{ тогда } \alpha_u = \frac{3}{4}.$$

Требуемая площадь опорной плиты

$$A_{pl} = \frac{N_{E,d}}{f_{cud}} = \frac{111}{6,75 \cdot 10^{-1}} = 164,4 \text{ см}^2.$$

Из условия размещения анкерных болтов ширину опорной плиты принимаем 390 мм. Тогда требуемая длина плиты

$$L_{pl} = \frac{A_{pl}}{B_{pl}} = \frac{164,4}{39} = 4,2 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем длину плиты 650 мм, равную длине опорной площадки стойки. Тогда средние напряжения в бетоне под плитой

$$\sigma_f = \frac{N_{E,d}}{A_{pl}} = \frac{111 \cdot 10}{65 \cdot 39} = 0,43 \text{ МПа} < f_{cud} = 6,75 \text{ МПа}.$$

3.9.1.3 Определение толщины опорной плиты

Опорная плита работает на изгиб от давления торца стойки рамы и реактивного давления фундамента. Изгибающий момент на участке 1


$$M_1 = \alpha \cdot \sigma_f \cdot a^2 = 0,133 \cdot 0,38 \cdot 10^{-1} \cdot 15^2 = 1,13 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

где $a = 16 \text{ см}$ – длина свободного края участка 1;

$\alpha = 0,133$ – коэффициент, зависящий от соотношения сторон участка

$$\frac{b}{a} = \frac{650}{150} = 4,33 > 0,5 \text{ (таблица 3.4)}.$$

Таблица 3.4 – Коэффициенты α для расчета плит, опертых на 2 и 3 канта

Расчетная схема	Значения α при отношении b/a , равном											
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	> 2,0
	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,12	0,126	0,129	0,131	0,132	0,133
	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,12	0,126	0,129	0,131	0,132	0,133

1. Для участка, опирающегося на три канта (на три стороны), значение α в запас прочности при $b/a < 0,5$ находят как для консоли длиной b . Изгибающий момент на участке $M = qb^2/2$.
 2. Для участка, опирающегося на два канта (на две стороны), значение α в запас прочности при $b/a < 0,5$ находят как для консоли длиной b .

Изгибающий момент на участке 2 (опертый на 2 стороны). Т. к. отношение $\frac{b}{a} = \frac{112}{650} = 0,172 < 0,5$, то изгибающий момент на участке 2 находим как для консоли

$$M_2 = \frac{\sigma_f \cdot a^2}{2} = \frac{0,38 \cdot 10^{-1} \cdot 11,2^2}{2} = 2,38 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Для определения толщины плиты за расчетное значение изгибающего момента принимаем $M_{\max} = M_2 = 2,38 \text{ кН} \cdot \text{см}$. Тогда требуемая толщина плиты

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{f_{yd} \cdot \gamma_c}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2,38}{240 \cdot 10^{-1} \cdot 1,2}} = 0,704 \text{ см} < t_{\min} = 1,2 \text{ см},$$

где $f_{yd} = 240 \text{ МПа}$ – расчетное сопротивление стали С255 (таблица А.3 [16]);

$\gamma_c = 1,2$ – коэффициент условий работы (п.9, таблица Б.1 [16]).

Принимаем опорную плиту толщиной 12 мм. Для восприятия поперечной силы в торце к опорной плите привариваем лист толщиной 8 мм.

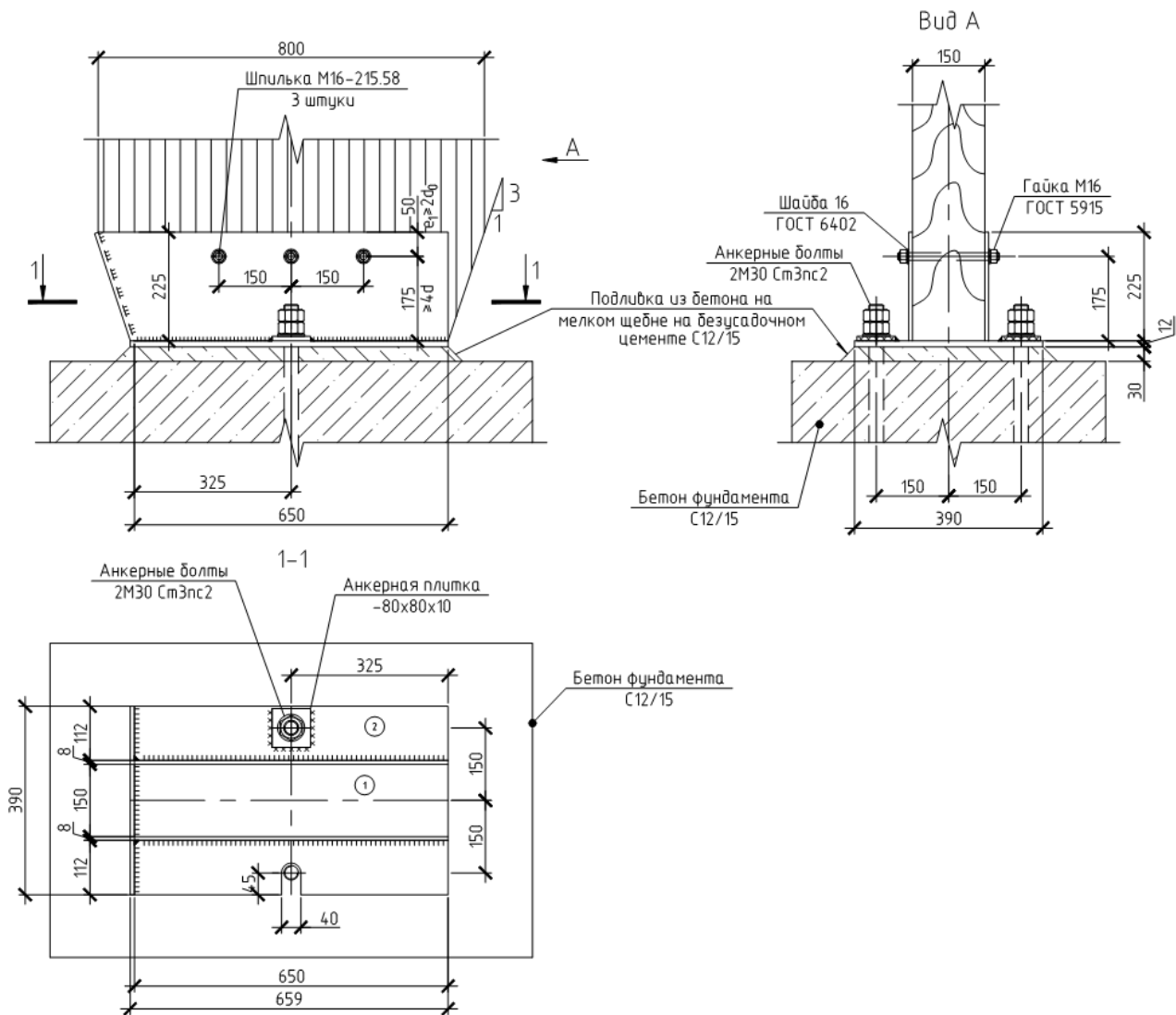


Рисунок 3.5 – Опорный узел рамы

3.9.1.4 Расчет анкерных болтов

Для анкерных болтов принимаем сталь СтЗпс2 по ГОСТ 380 (таблица Г.7 [16]). Диаметр анкерных болтов определяем из условия сдвига по формуле 12 [21]. Тогда требуемая площадь нетто одного болта

$$A_{ba,tr} = \frac{V_{E,dIV}}{0,58 \cdot n \cdot f_{ba}} = \frac{93,96}{0,58 \cdot 2 \cdot 190 \cdot 10^{-1}} = 4,26 \text{ см}^2,$$

где $n = 2$ – количество анкерных болтов;

$f_{ba} = 190 \text{ МПа}$ – расчетное значение прочности на растяжение анкерных болтов (таблица Г.7 [16]).

По таблице 4.12 [18] принимаем 2 анкерных болта диаметром 30 мм с $A_{ba} = 5,6 \text{ см}^2 > A_{ba,tr} = 4,26 \text{ см}^2$. Под болты устанавливаем анкерные плитки – 80x80x10 из стали С255, которые привариваем к плите с трех сторон ручной электродуговой сваркой по ГОСТ 5264 электродом Э42 с $k_f = 8 \text{ мм} > k_{f,min} = 4 \text{ мм}$ (таблица 39 [16]). Проверяем прочность угловых швов, прикрепляющих анкерные плитки, на действие поперечной силы.

Т. к. $\beta_f \cdot f_{wf} \cdot \gamma_{wf} = 0,7 \cdot 180 \cdot 1,0 = 126 \text{ МПа} < \beta_z \cdot f_{wz} \cdot \gamma_{wz} = 1,0 \cdot 171 \cdot 1,0 = 171 \text{ МПа}$, то расчет ведем по металлу шва,

где $f_{wf} = 180 \text{ МПа}$ – расчетное значение прочности угловых швов на срез по металлу шва (таблица Г.2);

$f_{wz} = 0,45 \cdot f_{un} = 0,45 \cdot 380 = 171 \text{ МПа}$ – расчетное значение прочности угловых швов на срез по металлу границы сплавления (таблица Г.2);

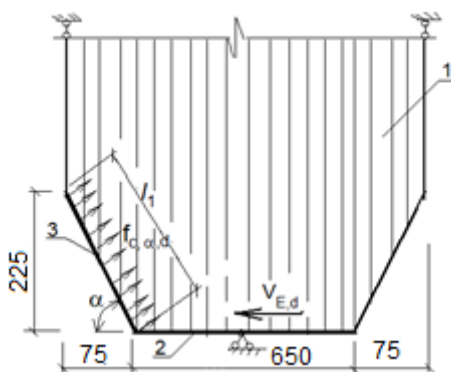
$\beta_f = 0,7$ и $\beta_z = 1,0$ – коэффициенты для расчета углового шва соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления (таблица 40 [16]).

$$\text{Т. к. } \tau_{wf} = \frac{V_{E,dIV}}{k_f \cdot \beta_f \cdot l_w} = \frac{93,96 \cdot 10}{0,8 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot (8 \cdot 3)} = 29,3 \text{ МПа} < f_{wf} \cdot \gamma_{wf} = 180 \cdot 1 = 180 \text{ МПа},$$

несущая способность сварных швов, прикрепляющих анкерные плитки, обеспечена.

3.9.1.5 Проверка сопротивления упорной площадки наклонной плиты сжатию древесины под углом α к направлению волокон

Для законструированного опорного узла стойки рамы необходимо выполнить проверку сопротивления контактной поверхности упорной наклонной плиты 3 (рис. 3.5) сжатию древесины под углом α к волокнам (рис. 3.6).



1 – стойка рамы; 2 – упорная горизонтальная пластина башмака;

3 – упорная наклонная пластина башмака

Рисунок 3.6 – Расчетная схема опорного узла стойки рамы при определении сопротивления упорной наклонной пластины башмака при сжатии древесины под углом α к направлению волокон

Для выполнения данной проверки предварительно определяют:

– угол наклона упорной плиты 3

$$\alpha = \arctg \frac{225}{75} = 71^{\circ}35'$$

– длину l_1 упорной наклонной плиты

$$l_1 = \frac{75}{\cos \alpha} = \frac{75}{0,316} = 237 \text{ мм};$$

– расчетное значение прочности дощатоклееной древесины сжатию под углом α к волокнам

$$f_{c,\alpha,g,dII} = \frac{f_{c,0,g,dII}}{\frac{f_{c,0,g,dII}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,dII}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{20,48}{1,67 \cdot 1,6 \cdot 0,947^2 + 0,316^2} = 2,94 \text{ МПа},$$

здесь $f_{c,90,g,dll} = \frac{k_{mod,dll} \cdot f_{c,90,g,k} \cdot k_{sys}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 2,5 \cdot 1}{1,25} = 1,6 \text{ МПа}$,
 $k_{c,90} = 1,67$ согласно п. 7.7.2 [10];

– расчетное значение $V_{R,\alpha,dll}$ сопротивления упорной площадки наклонной плиты сжатию древесины под углом α к направлению волокон

$$V_{R,\alpha,dll} = f_{c,\alpha,g,dll} \cdot l_1 \cdot b = 2,94 \cdot 237 \cdot 150 = 104,52 \text{ кН};$$

– расчетное значение сдвигающего усилия (распора), действующего перпендикулярно упорной наклонной плите 3 (рис. 3.6)

$$V_{E,\alpha,dll} = V_{E,dll} \cdot \sin \alpha = 93,96 \cdot 0,947 = 88,98 \text{ кН}.$$

Выполняют проверку условия:

$$\frac{V_{E,\alpha,dll}}{V_{R,\alpha,dll}} = \frac{88,98}{104,52} = 0,85 < 1, \text{ т. е. условие выполняется.}$$

3.9.2 Коньковый узел рамы

Расчет для принятой конструкции (рис. 3.1г) конькового узла рамы производят в следующей последовательности:

– выполняют проверку сопротивления упорной площадки при сжатии древесины под углом β и сопротивления поперечного сечения при сдвиге древесины вдоль волокон коньковым узле рамы;

– рассчитывают необходимое количество нагелей для восприятия сдвигающего усилия в соединении элементов узла;

– выполняют проверки предельных состояний несущей способности стальных элементов соединения.

3.9.2.1 Проверка сопротивления упорной площадки башмака при сжатии древесины под углом β и сопротивления поперечного сечения при сдвиге древесины в коньковом узле рамы

Поскольку в коньковом узле рамы сжатие древесины происходит под углом $\beta = 18^\circ$, то расчетное значение прочности, согласно [5], определяют по формуле

$$f_{c,\beta,g,dl} = f_{c,\beta,g,dll} = \frac{f_{c,0,q,dl}}{\frac{f_{c,0,q,dl}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,q,dl}} \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta} = \frac{20,48}{\frac{20,48}{1 \cdot 2,0} \cdot \sin^2 18^\circ + \cos^2 18^\circ} = 10,88 \text{ МПа.}$$

Определение расчетного значения $N_{c,R,d}$ сопротивления упорной площадки под пластинами башмаков конькового узла при сжатии дощатоклееной древесины (рис. 3.1 г) под углом $\beta = 18^\circ$ и сопротивления $V_{R,d}$ сдвигу вдоль волокон в сечении, перпендикулярном направлению волокон (таблица 3.1), выполняют по формулам:

$$N_{c,R,dl,B} = f_{c,\beta,g,dl} \cdot b \cdot l_{n,\beta} = 10,88 \cdot 250 \cdot 150 = 408 \text{ кН} > (N_{c,\beta,E,dl,B} = H_{dl,A} = 93,86 \text{ кН}; N_{c,\beta,E,dll,B} = H_{dll,F} = 75,97 \text{ кН})$$

нено,

$$V_{R,dll,B} = \frac{2}{3} \cdot f_{v,g,dll} \cdot b \cdot l_n \cdot k_{cr} = \frac{2}{3} \cdot 2,24 \cdot 150 \cdot 300 \cdot 0,67 = 45,02 \text{ кН} > (V_{E,dl} = 29,47 \text{ кН}, V_{E,dll} = 34,05 \text{ кН})$$

– условие выполнено.

Корректировки размеров принятых поперечных сечений не требуется.

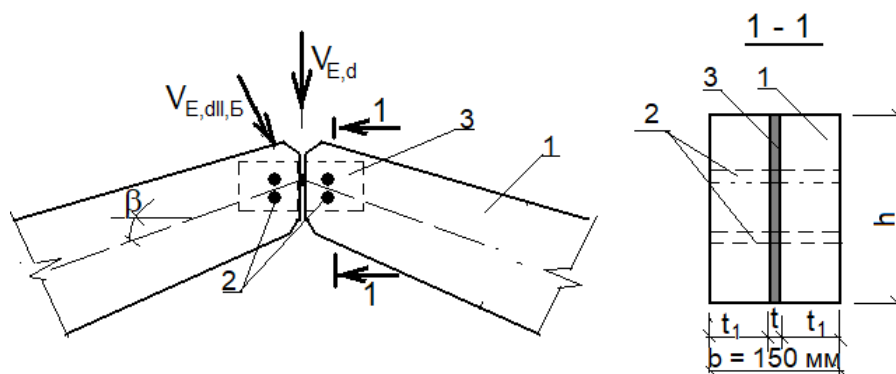
3.9.2.2 Определение необходимого количества нагелей для восприятия сдвигающего усилия в соединении полурам в коньковом узле

Для определения количества нагелей (рис. 3.7), соединяющих башмак с ригелем рамы, первоначально определяют расчетное значение сдвигающего $V_{E,d}$ усилия, используя выражение

$$V_{E,d} = \frac{V_{E,dll,Б}}{\cos \beta} = \frac{34,05}{\cos 18^\circ} = \frac{34,05}{0,9511} = 35,8 \text{ кН},$$

здесь $V_{E,dll,Б}$ – расчетное значение сдвигающего усилия в коньковом узле, действующей перпендикулярно геометрической оси ригеля полурамы, для комбинации нагружения II, принимаемое из таблицы 3.1;

β – угол наклона геометрической оси ригеля полурамы, равный 18° .



1 – полурама; 2 – нагели диаметром d ; 3 – стальная пластина башмака

Рисунок 3.7 – Схема конькового узла соединения полурам

Соединение башмаков в карнизном узле с ригелем полурамы выполнено с использованием нагелей (болтов) и врезной стальной пластины толщиной $t = 14$ мм. Диаметр d болтов принимаем равным 16 мм.

Определяем требуемое количество болтов для восприятия усилия $V_{E,d}$ сдвига в соответствии с правилами раздела 9.3 [5].

Поскольку в данном соединении нагели расположены в один ряд, то, согласно [5], для определения количества нагелей используем формулу (9.7) [5], т. е.

$$n_{ef} = \frac{V_{E,d}}{F_{v,R,d} \cdot n_s},$$

где $F_{v,R,d}$ – расчетное значение несущей способности для одного среза нагеля для одной плоскости сдвига;

n_s – число плоскостей среза (сдвига) для одного нагеля.

Расчетное значение несущей способности $F_{v,R,d}$ для одного среза нагеля определяют по формуле (9.8) [5], т. е.

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

где $k_{mod,II}$ – коэффициент модификации, в данном примере равен 0,8;

$F_{v,R,k}$ λ_M – характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля, определяемое по таблице 9.2 [5] и принимаемое минимальное значение из всех расчетных величин.

Определяют характеристическое значение несущей способности одного нагеля на один срез, используя формулы таблицы 2.2 [5]:

– по пункту «ж»

$$F_{v,R,k} = f_{h1,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 19,765 \cdot 68 \cdot 16 = 21504 \text{ Н} = 21,5 \text{ кН},$$

где $f_{h1,\alpha,k}$ – характеристическое значение сопротивления древесины при вдавливании болтов плашмя под углом $\alpha = 72^\circ$ к направлению волокон, определяемое по формуле

$$f_{h1,\alpha,k} = \frac{f_{h1,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{30,3}{1,59 \cdot 0,9511^2 + 0,309^2} = \frac{30,3}{1,53} = 19,765 \text{ Н / мм}^2,$$

здесь $f_{h1,0,k}$ – характеристическое значение сопротивления древесины при вдавливании болтов плашмя по направлению волокон древесины, определяемое по формуле

$$f_{h1,0,k} = 0,082(1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = \\ 0,082(1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 440 = \frac{30,3}{1511^2 + 0,309^2} = 30,3 \text{ Н / мм}^2.$$

Значение коэффициента k_{90} определяют по формуле

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59.$$

– по пункту «и»

$$F_{v,R,k} = f_{h1,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,R,k}}{f_{h1,\alpha,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} = \\ 19,765 \cdot 68 \cdot 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 675885}{19,765 \cdot 68^2 \cdot 16}} - 1 \right] = 21504 \cdot 0,96 = 20643 \text{ Н} = 20,64 \text{ кН},$$

где $M_{y,R,k}$ – характеристическое значение момента для болтов определяют по формуле в таблице 9.4 [5]

$$M_{y,R,k} = 0,3 \cdot f_{byk} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 664 \cdot 16^{2,6} = 675885 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

f_{byk} – характеристическое значение предела прочности для болтов класса прочности 8.8 (таблица Г.5 [16]).

– по пункту «м»

$$F_{v,R,k} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,R,k} \cdot f_{h1,\alpha,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,R,k}}{4} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{675885 \cdot 19,765 \cdot 16} \right] = \\ 2,3 \cdot 14619,9 = 33626 \text{ Н} = 33,626 \text{ кН}.$$

Значением $\frac{F_{ax,R,k}}{4}$ в приведенных выше формулах пунктов «и» и «м» можно пренебречь ввиду малой величины.

Из вычисленных выше значений $F_{v,R,k}$ принимается наименьшая величина, которая для данного примера составила $F_{v,R,k} = 20,643 \text{ кН}$. Для данного характеристического значения определяют расчетное значение несущей способности

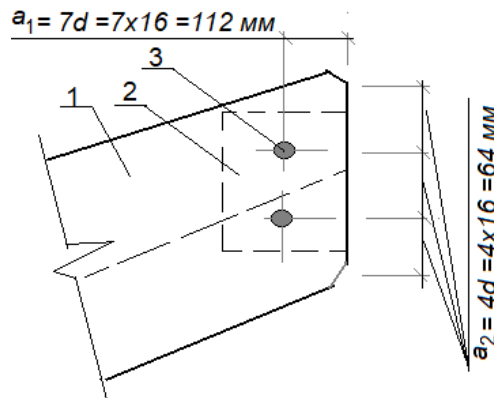
$$F_{v,R,d} = k_{mod,II} \cdot \frac{F_{v,R,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{20,643}{1,25} = 13,21 \text{ кН}.$$

Тогда требуемое количество болтов должно составлять

$$n_{ef} = \frac{V_{E,d}}{F_{v,R,d} \cdot n_s} = \frac{35,8}{13,24 \cdot 2} = 1,36. \text{ Принимаем 2 нагеля в виде шпилек класса прочности}$$

8.8 диаметром $d = 16$ мм.

При расстановке нагеле в соединении руководствуются правилами раздела 9 [5], где расстояние a_1 от торца элемента по направлению волокон древесины не должно быть меньше $7d$, а между болтами в ряду – не менее $4d$ (см. рис. 3.8).



1 – ригель рамы; 2 – врезная стальная пластина башмака; 3 – болты диаметром 16 мм

Рисунок 3.8 – Схема расстановки нагелей

3.9.2.3 Проверка врезной стальной пластины на смятие

Толщина врезной пластины принята 14 мм. Диаметр отверстия под нагели принимаем $d_0 = d + 1 = 17$ мм. Для листового проката принимаем сталь С255 по ГОСТ 27772. Требуемую толщину вертикальных ребер определяем из условия смятия по формуле 198 [16]

$$t = 1,4 \text{ см} \geq \frac{N_{E,d}}{f_{bp} \cdot d_b \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{93,86}{500 \cdot 10^{-1} \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 1,17 \text{ см},$$

где $f_{bp} = 500$ МПа – расчетное значение прочности на смятие, соединяемое болтами (т. Г.6 [16]);

$d_b = 1,6$ см – наружный диаметр стержня шарнирного стержня;

$$\gamma_b = \min \left(\begin{array}{l} 0,4 \frac{e_1}{d_0} + 0,2 = 0,4 \frac{3,5}{1,7} + 0,2 = 1,024 \\ 1,0 \end{array} \right) \text{ – коэффициент условий работы болто-}$$

вого соединения, таблица 42 [16];

$e_1 \geq 2d_0 = 4,5$ см – расстояние от центра отверстия до края элемента;

$d_0 = 2,1$ см – диаметр отверстия;

$\gamma_c = 1,0$ – коэффициент условий работы, принимаемый из таблицы Б.1 [16].

Условие выполнено, толщину врезной пластины не увеличиваем.

3.9.2.4 Определение радиуса шарнира и толщины вертикальных ребер

Расчетная нормальная сила в узле $N_{E,d} = 93,86$ кН (сочетание I). Для листового проката принимаем сталь С255 по ГОСТ 27772.

Шарнирный стержень проектируем из шпильки класса точности В по ГОСТ 22042-76 класса прочности 8.8. Требуемую площадь сечения шпильки определяем из условия ее работы на срез по формуле 197 [16]

$$A_b \geq \frac{N_{E,d}}{f_{bs} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{93,86}{332 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 1,41 \text{ см}^2,$$

где $f_{bs} = 332 \text{ МПа}$ – расчетное значение прочности одноболтового соединения на срез (т. Г.5 [16]);

$n_s = 2$ – количество плоскостей среза;

$\gamma_b = 1,0$ – коэффициент условий работы болтового соединения, таблица 42 [16];

$\gamma_c = 1,0$ – коэффициент условий работы, принимаемый из таблицы Б.1 [16].

Конструктивно принимаем шарнирный стержень из шпильки диаметром 20 мм с $A_b = 3,14 \text{ см}^2$. Длину шпильки принимаем из условия, чтобы резьба не проходила через плоскость среза, т. е. 220 мм.

Требуемую толщину вертикальных ребер определяем из условия смятия по формуле 198 [16]

$$\sum t \geq \frac{N_{E,d}}{f_{bp} \cdot d_b \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{93,86}{500 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 1,0 \cdot 1,0} = 0,94 \text{ см},$$

где $f_{bp} = 500 \text{ МПа}$ – расчетное значение прочности на смятие, соединяемое болтами (т. Г.6 [16]);

$d_b = 2,0 \text{ см}$ – наружный диаметр стержня шарнирного стержня;

$$\gamma_b = \min \begin{cases} 0,4 \frac{e_1}{d_0} + 0,2 = 0,4 \frac{4,5}{2,1} + 0,2 = 1,057 \\ 1,0 \end{cases} \text{ – коэффициент условий работы болто-}$$

вого соединения, таблица 42 [16];

$e_1 \geq 2d_0 = 4,5 \text{ см}$ – расстояние от центра отверстия до края элемента;

$d_0 = 2,1 \text{ см}$ – диаметр отверстия;

$\gamma_c = 1,0$ – коэффициент условий работы, принимаемый из таблицы Б.1 [16].

Принимаем два вертикальных ребра толщиной по 6 мм: $\sum t = 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ см} > 0,94 \text{ см}$ (рисунок 3.9).

3.9.2.5 Определение толщины плиты опорной части

В опорной части оголовков работает как плита, защемленная с трех сторон и свободная короткой стороной, с размерами в плане 122x88 мм (участок 1 на разрезе 2-2, рисунок 3.9). Изгибающий момент на участке 1

$$M_1 = \alpha \cdot q \cdot a^2 = 0,124 \cdot 0,209 \cdot 8,8^2 = 2,01 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

где $a = 88 \text{ см}$ – длина свободного края участка 1;

$\alpha = 0,124$ – коэффициент, зависящий от соотношения сторон участка $b/a = 122/88 = 1,386 > 0,5$ (таблица 3.4);

$$q = \frac{N_{E,d}}{A_c} = \frac{93,86}{30 \cdot 15} = 0,209 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

Изгибающий момент на консольном участке 2 (разрез 2-2, рисунок 3.9) при вылете консоли $a = 2,5 \text{ см}$

$$M_2 = \frac{q \cdot a^2}{2} = \frac{0,209 \cdot 2,5^2}{2} = 0,65 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

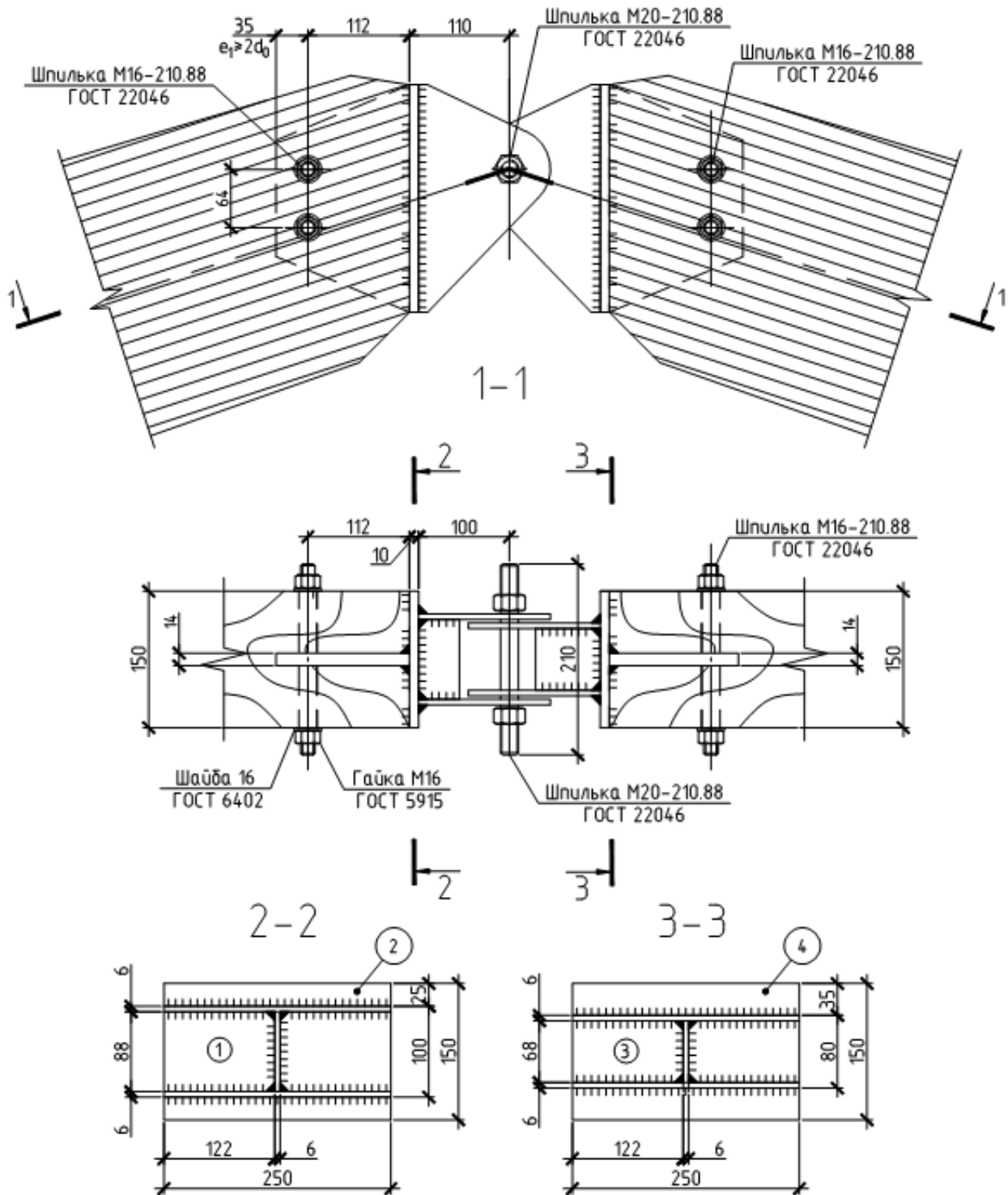


Рисунок 3.9 – Коньковый узел рамы

Изгибающий момент на участке 3 (разрез 3-3, рисунок 3.9)

$$M_3 = \alpha \cdot q \cdot a^2 = 0,131 \cdot 0,209 \cdot 6,8^2 = 1,27 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

где $a = 88 \text{ см}$ – длина свободного края участка 1;

$\alpha = 0,131$ – коэффициент, зависящий от соотношения сторон участка $b/a = 122/68 = 1,794 > 0,5$ (таблица 3.4).

Изгибающий момент на консольном участке 4 (разрез 3-3, рисунок 3.9) при вылете консоли $a = 3,5$ см

$$M_4 = \frac{q \cdot a^2}{2} = \frac{0,209 \cdot 3,5^2}{2} = 1,28 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Для определения толщины плиты за расчетное значение изгибающего момента принимаем $M_{\max} = M_1 = 2,01 \text{ кН} \cdot \text{см}$. Тогда требуемая толщина плиты

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{f_{yd} \cdot \gamma_c}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2,01}{240 \cdot 10^{-1} \cdot 1,2}} = 0,647 \text{ см} < t_{\min} = 1,0 \text{ см},$$

где $f_{yd} = 240$ МПа – расчетное сопротивление стали С255 (таблица А.3 [16]);
 $\gamma_c = 1,2$ – коэффициент условий работы (п.9, таблица Б.1 [16]).

Принимаем опорную плиту толщиной 10 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (рекомендуемое)

Значения частных коэффициентов γ_M и k_{mod}

Таблица А.1 – Значения частного коэффициента свойств материалов, γ_M [5]

Постоянные расчетные ситуации		γ_M
Пиломатериалы по СТБ EN 14081-1		1,3
Клееная древесина по СТБ EN 14080		1,25
LVL и фанера по СТБ EN 14374, СТБ EN 14279 и СТБ EN 636		1,2

Таблица А.2 – Значения коэффициента модификации, k_{mod} [5]

Материал	Класс эксплуатации	Класс длительности нагрузки				
		постоянная	длительная	среднесрочная	кратковременная	мгновенная
Пиломатериалы по СТБ EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Клееная древесина по СТБ EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Древесина из клееного шпона (LVL)	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Фанера по СТБ EN 636	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

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 [13]

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 $f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Растяжение поперек волокон $f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Сжатие вдоль волокон $f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Сжатие поперек волокон $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Сдвиг $f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Упругие характеристики, кН/мм²																		
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон $E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,05}$	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 $E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Среднее значение модуля сдвига G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
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
Объемный вес, кН/м³																		
Объемный вес γ_k	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
Примечания																		
1 Табличные значения распространяются на древесину с влажностью при температуре 20 °С и относительной влажностью воздуха 65 %.																		
2 Характеристические значения модуля сдвига $G_{0,05} = 0,8G_{mean}$.																		

Таблица Б.2 – Прочностные и упругие характеристики однородной клееной древесины из хвойных пиломатериалов, ее плотность и объемный вес по [14]

Характеристики, Н/мм ²	Обозначение	Классы прочности однородной клееной древесины						
		GL20h	GL22h	GL24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Изгиб	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Растяжение	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Сжатие	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Сдвиг	$f_{v,g,k}$	3,5						
Сдвиг при кручении	$f_{r,g,k}$	1,2						
Модуль упругости	$E_{0,g,mean}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
	$E_{0,g,0.05}$	7000	8800	9600	10100	10500	11300	11800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,0.05}$	250						
Модуль сдвига	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,0.05}$	540						
Модуль сдвига при кручении	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,0.05}$	54						
Плотность, кг/м ³	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490
Объемный вес, кН/м ³	γ_k	3,4	3,7	3,8	4,0	4,2	4,3	4,4

Таблица Б.3 – Прочностные и упругие характеристики комбинированной дощатоклееной древесины из хвойных пиломатериалов, ее плотность и объемный вес по [24]

Характеристики, Н/мм ²	Обозначение	Классы прочности комбинированной клееной древесины						
		GL 20с	GL 22с	GL 24с	GL 26с	GL 28с	GL30с	GL 32с
Изгиб	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Растяжение	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Сжатие	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Сдвиг	$f_{v,g,k}$	3,5						
Сдвиг при кручении	$f_{r,g,k}$	1,2						
Модуль упругости	$E_{0,g,mean}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	$E_{0,g,0.05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,0.05}$	250						
Модуль сдвига	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,0.05}$	540						
Модуль сдвига при кручении	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,0.05}$	54						
Плотность, кг/м ³	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440
Объемный вес, кН/м ³	γ_k	3,5	3,5	3,6	3,8	3,9	3,9	4,0

Таблица Б.4 — Прочностные и упругие характеристики фанеры, ее плотность и объемный вес по [15]

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	Вдоль волокон	Поперек волокон	Вдоль волокон	Поперек волокон	Вдоль волокон	Поперек волокон	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_{c90k} , 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_{c0k} , 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						
Объемный вес γ , кН/м ³	5,0				7,0						
<i>Примечание — Характеристические значения модуля упругости $E_{0,05}$ и модуля сдвига $G_{0,05}$ определяют: $E_{0,05} = 0,8E_{mean}$, $G_{0,05} = 0,8G_{mean}$.</i>											

Список использованных источников

1. Серов, Е. Н. Проектирование деревянных конструкций: учебное пособие / Е. Н. Серов, Ю. Д. Санников, А. Е. Серов; под ред. Е. Н. Серова. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.
2. Турковский, С. Б. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК) / С. Б. Турковский. А. А. Погорельцев, И. П. Преображенская. – М. : РИФ Стройматериалы, 2013. – 308 с.
3. Найчук, А. Я. Опыт проектирования и строительства общественных зданий с применением деревянных клееных конструкций в Республике Беларусь / А. Я. Найчук, В. Н. Деркач // Строительство в прибрежных курортных регионах : материалы VI Международной научно-практической конференции. – Сочи, 2010, – С. 68 – 70.
4. Найчук А. Я. Карнизный узел трехшарнирной рамы из клееных деревянных элементов на клеенных стержнях / А. Я. Найчук // Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини: зб. наукових праць. – ОДАБА, Випуск №25 (2021) – С. 92-102.
5. Деревянные конструкции : СП 5.05.01-2021 – Введены 01.06.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 115 с.
6. Основы проектирования строительных конструкций : СН 2.01.01-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020. – 90 с.
7. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий : СН 2.01.02-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020, – 41 с
8. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки : СН 2.01.04-2019 - Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020. – 43 с.
9. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020. – 128 с.
10. Защита строительных конструкций от коррозии : СН 2.01.07-2020 – Введены 31.12.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020. – 69 с
11. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия : СН 2.01.06-2019. – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020. – 35 с.
12. Конструкции деревянные. Древесина конструкционная цельная и клееная многослойная. Определение некоторых физических и механических свойств : СТБ EN 408-2012. – Введен 01.01.2113. – Минск : Госстандарт, 2012. – 32 с.
13. Древесина конструкционная. Классы прочности : СТБ EN 338-2011. – Введен 28.10.09 2011. – Минск : Госстандарт, 2011. – 11 с.
14. Конструкции деревянные. Древесина клееная многослойная. Классы прочности и определение характеристических значений : СТБ EN 1194-2011. – Введен 01.07.2112. – Минск : Госстандарт, 2011. – 13 с.
15. Фанера. Требования : СТБ EN 636-2004. – Введен 01.07.2005. – Минск : Госстандарт, 2014. – 16 с.
16. Стальные конструкции : СП 5.04.01-2020 – Введены 01.10.2021. – Минск.: Минстройархитектуры РБ, 2021. – 153 с.
17. Воздействия на здания в соответствии с требованиями Еврокодов / В. В. Тур [и др.] ; под ред. В. В. Тура, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2020. – 81 с.
18. Металлические конструкции. / А. Б. Шурин [и др.] ; под ред. А. Б. Шурина. – Брест: Издательство БрГТУ, 2020. – 177 с.
19. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020. – Введены 16.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2021 – 244 с.
20. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия : ГОСТ 27772-2015. – Введен 01.09.2016. – М. : Стандартинформ, 2016. – 21 с.

21. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования (к СНиП 2.09.03) : МДС 31-4.2000. – М. : ЦНИИпромзданий, 2001. – 104 с.

22. Прокат сортовой стальной горячекатанной круглой. Сортамент : ГОСТ 2590-2006 (EN 10060:2003, NEQ). – Введен 7.12.2006. – М. : Стандартинформ. – 2012. – 5 с.

23. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент : ГОСТ 8732-78. – Введен 22.03.78. – М. :ИПК Издательство стандартов, 2004. – 9 с.

Учебное издание

Авторы:

*Найчук Анатолий Яковлевич
Захаркевич Иван Филиппович
Шурин Андрей Брониславович*

Рамы из древесины и 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.

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 30.03.2022 г.

Гарнитура «Ariat». Формат 60×84^{1/16}.

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

Заказ № 312. Тираж 17 экз. Отпечатано на ризографе

Учреждения образования «Брестский
государственный технический университет».

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

ISBN 978-985-493-550-8



9 789854 935508

