

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительных конструкций и сооружений»

Влияние стальной арматуры на распределение нормальных  
напряжений в гнутоклееных рамах из досок

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К КВАЛИФИКАЦИОННОЙ НАУЧНОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА  
ЮУрГУ-080401.2020.079.ПЗ.КНР

Руководитель КНР, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ С.Г. Иванов

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор КНР

студент группы АС-259

\_\_\_\_\_ Ю.С. Андриевских

\_\_\_\_\_ 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Андриевских Ю.С. Влияние стальной арматуры на распределение нормальных напряжений в гнутоклееных рамах из досок – Челябинск: ЮУрГУ, АС-259, 2020. – 70 с., 48 ил., 2 табл., библиографический список – 14 наим., 1 прил.

Магистерская работа состоит из 3 разделов:

- Обзор литературы. Производится обзор нормативной литературы и научных статей.

- Глава 1. Приведен теоретический расчет НДС гнутоклееной рамы из досок в ПК LIRA 2013.

- Глава 2. Приведено исследование НДС гнутоклееной рамы из досок в ПК Ansys Workbench 2017.

В магистерской работе применялись следующие пакеты прикладных программ:

- ПК AutoCAD 2015 – для выполнения графического материала
- ПК LIRA 2013 – для создания расчетной модели
- ПК Ansys Workbench 17.2 2017 – для проведения исследовательской части работы.
- ПК Microsoft Office Word 2013 – для оформления пояснительной записки

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР			
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Влияние армирования на деформации деревянных конструкций	Литера	Лист	Листов
Разраб	Андриевских						1	70
Пров	Иванов							
Н. Контр.								
Утв								
						ЮУрГУ Кафедра СКИС		

# ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ .....	3
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
<b>1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА .....</b>	<b>8</b>
1.1. Исторический обзор .....	8
1.2. Обзор нормативной литературы .....	14
1.3. Обзор научных статей .....	15
1.4. Определение направления исследования .....	20
<b>2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НДС ГНУТОКЛЕЕНОЙ РАМЫ ИЗ ДОСОК С ПОМОЩЬЮ ПК LIRA 2013.....</b>	<b>21</b>
2.1. Создание расчетной модели здания .....	21
2.2. Сбор нагрузок .....	24
2.2.1. Постоянные нагрузки .....	24
2.2.2. Временные нагрузки .....	26
2.3. Задание нагрузок и формирование таблицы РСУ .....	27
2.4. Расчет опасных сечений .....	30
2.5. Проверка элементов гнutoкклееной рамы .....	32
2.6. Расчеты и конструирование узлов .....	36
2.6.1. Опорный узел .....	36
2.6.2. Коньковый узел .....	39
<b>3. ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ГНУТОКЛЕЕНОЙ РАМЫ ИЗ ДОСОК В ПК ANSYS WORKBENCH 2017 .....</b>	<b>41</b>
3.1. Обрыв арматурных стержней .....	41
3.2. Создание геометрической модели .....	45
3.1. Создание расчетной модели .....	50
3.2. Моделирование сетки .....	51
3.3. Задание граничных условий и действующих нагрузок .....	54
3.4. Анализ результатов .....	56
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>59</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>60</b>
Приложение 1. Таблица РСУ .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Стихийный неконтролируемый характер научно-технического прогресса привел к острым экологическим проблемам современной цивилизации. Человек все чаще задумывается об ущербе, который он наносит окружающему миру и о способах его минимализации. Так, мы наблюдаем появление разлагаемых полиэтиленовых упаковок, экологической одежды, чистого производства. Данная тенденция не могла обойти стороной такую широкую сферу как строительство. Стремление человека к природе находит свое отражение в новых интересных проектах экологических деревянных небоскребов, разрабатываемых в разных точках мира: Япония, Норвегия, Канада. Интерес к дереву как к конструктивному материалу возобновляется с новой силой, что говорит об *актуальности* изучения данной темы.

Высокие темпы и уровень современного строительства предъявляют качественно новые требования к строительным материалам и конструкциям. Клееные деревянные конструкции по ряду технико-экономических показателей превосходят металлические и железобетонные: имеют малую монтажную массу, относительно высокую прочность и жесткость при достаточной надежности и долговечности. В то же время отрицательные свойства древесины (зависимость свойств от ее строения, пороков, необходимости применения и значительного расхода качественного пиломатериала, излишней массивности сечений, ползучести при длительном нагружении и др.) ограничивают область применения и ухудшают показатели клееных деревянных конструкций, что является основной *проблемой* при проектировании.

Один из путей устранения указанных недостатков и повышения технико-экономической эффективности — армирование сечений клееных деревянных конструкций и элементов стальной или стеклопластиковой арматурой. Это позволяет существенно сократить расход древесины, уменьшить монтажную массу, повысить качество и надежность деревянных конструкций, работающих в основном на изгиб и сжатие с изгибом.

Высокая прочность и жесткость в сочетании с малой монтажной массой делают эти конструкции незаменимыми в рассредоточенном сельскохозяйственном

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

строительстве, труднодоступных и отдаленных от магистральных путей районах, для большепролетных конструкций и значительных нагрузок в узловых соединениях, позволяющих производить укрупненную сборку.

Легкие несущие клееные армированные конструкции находят применение в самых различных областях строительства: при возведении зрелищно-спортивных, сельскохозяйственных и складских зданий, пролетных строений мостов и эстакад, зданий химических производств и др., что предъявляет к ним весьма высокие требования, поскольку в процессе эксплуатации возможны воздействия перепадов температуры и влажности, агрессивных сред, повторной кратковременной и длительной нагрузок и др. Разработка и исследования клееных армированных деревянных конструкций для строительства - часть важной задачи по созданию новых видов эффективных несущих конструкций на основе древесины.

Армирование сечения деревянного элемента открывает новые возможности перед проектировщиками и строителями, поскольку армирование дает возможность за счет увеличения несущей способности и жесткости снизить вес, уменьшить габариты и стоимость несущих деревянных конструкций. Высокие конструктивные показатели армированных деревянных конструкций позволяют расширить область применения деревянных конструкций и сделать их конкурентно-способными не только с железобетонными, но и с металлическими конструкциями. В данной исследовательской работе представлена методика армирования конструкций, которая позволяет уменьшить материалоемкость изготавливаемой рамы. Данный факт позволяет сделать вывод об *актуальности исследования* в условиях удорожания строительных материалов и монтажных работ.

*Цель исследования* состоит в изучении влияния армирования на напряженно-деформированное состояние дощатоклееной рамы, в определении зависимости прочностных и деформационных характеристик конструкций от способа армирования и материала, используемого при этом.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

*Задачи исследования:*

1. Изучение опыта исследования напряженного состояния гнутоклееных армированных конструкций
2. Разработка расчетной модели в ПК "ЛИРА-САПР 2013".
3. Статический расчет гнутоклееной рамы для выявления опасных сечений, расчетных усилий.
4. Теоретический подбор сечения гнутоклееной рамы.
5. Конечноэлементное моделирование гнутоклееной рамы в ПК ANSYS WORKBENCH
6. Сопоставление результатов теоретического расчета с исследованием в ПК ANSYS WORKBENCH

*Предметом исследовательского интереса* в магистерской диссертации является гнутоклееная деревянная рама, усиленная стальной арматурой по всей длине и гнутоклееная рама, усиленная стальной арматурой только в карнизной зоне.

В ходе исследования использовались *методы научного познания*, такие как анализ научно-технической литературы, моделирование расчетной схемы, теоретический и экспериментальный расчет, сравнение результатов.

*Новизна* исследовательской работы заключается в выравнивании эпюры напряжений в наиболее нагруженном сечении без изменения его размеров.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

# 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

## 1.1. Исторический обзор

В центре внимания конструкторов и исследователей с конца XIX в. постоянно находится проблема повышения надежности деревянных конструкций и элементов, работающих на растяжение и поперечный изгиб. Наиболее эффективным способом повышения прочности и надежности таких конструкций оказался способ подкрепления деревянных элементов стальными. В дальнейшем на этой основе были разработаны металлодеревянные конструкции, в которых расчетные деревянные растянутые элементы заменялись стальными. Идея использования в конструкциях совместной работы древесины и металла нашла дальнейшее развитие в армированных деревянных конструкциях и элементах. В 1921 г. А. Клайтила (США) предложил использовать в конструкциях аэропланов и дирижаблей несущий деревянный элемент коробчатого сечения с запрессованной в полки стальной проволокой (рис. 1).

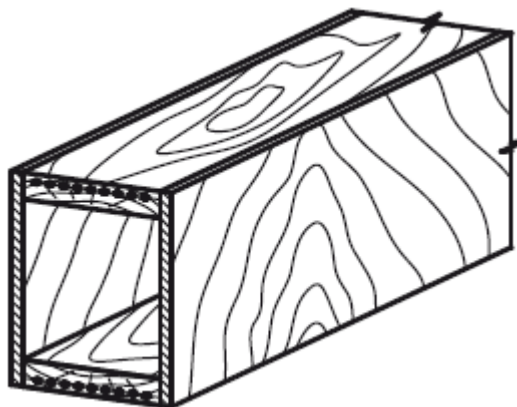


Рисунок 1. Балка коробчатого сечения, армированная стальной проволокой.

Этот элемент можно считать прообразом современных армированных деревянных конструкций. Однако трудности, связанные с изготовлением таких конструкций, и отсутствие надежных средств соединения стальной проволоки с древесиной не позволили реализовать это предложение. Армировать стальными прутками деревянные брусчатые балки и колонны в несущих строительных конструкциях впервые предложил А. Фишер (Германия) в 1926 г. Стальные прутки должны были

укладываться в пазы квадратного сечения и заливаться специальной мастикой, состав которой автор не приводит (рис. 2).

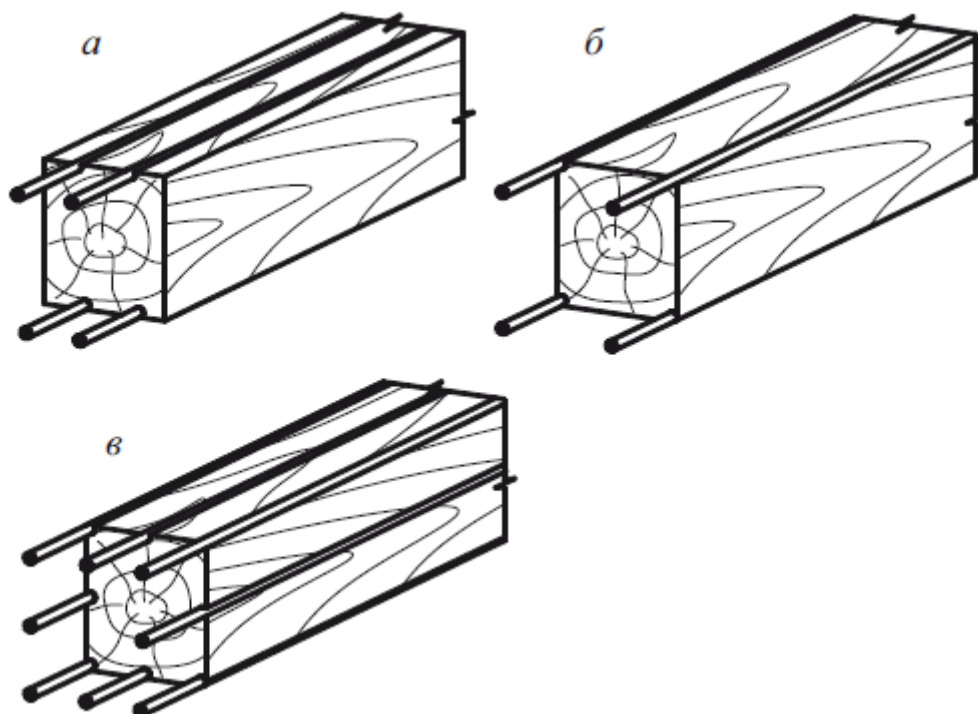


Рисунок 2. Армированные элементы из цельной древесины:  
а — армирование части сечения, б — армирование по углам сечения, в — армирование по всему сечению

Первые проекты армированных деревянных конструкций не были осуществлены из-за отсутствия надежных средств соединения арматуры с древесиной. Попытки простого и эффективного способа соединения арматуры с древесиной привели к использованию различных механических средств. Отечественный инженер А.Л. Монасевич изготовил и испытал серию брусчатых балок, армированных в растянутой зоне стальной полосой, которая соединялась с древесиной при помощи специально выштампованных зубьев или анкерных башмаков (рис. 3). Испытания таких балок показали их более высокую прочность и надежность по сравнению с обычными, особенно при действии ударных нагрузок, поскольку арматура предотвращала возможность хрупкого разрушения балок. В дальнейшем это решение нашло применение при усилении деревянных конструкций. Однако рассмотренный способ соединения арматуры с древесиной позволял армировать только растянутую зону конструкций, в то время как расчеты показали, что наиболее эффективно



двойное армирование. Для решения этой проблемы в 1944 г. Х. Гранхольм (Швеция) предложил применять специальные стержни с кольцевыми выступами по длине (рис. 4). В этом случае совместная работа арматуры с древесиной обеспечивалась зацеплением кольцевых выступов, которые врезались в стенки паза при запрессовке стержня.

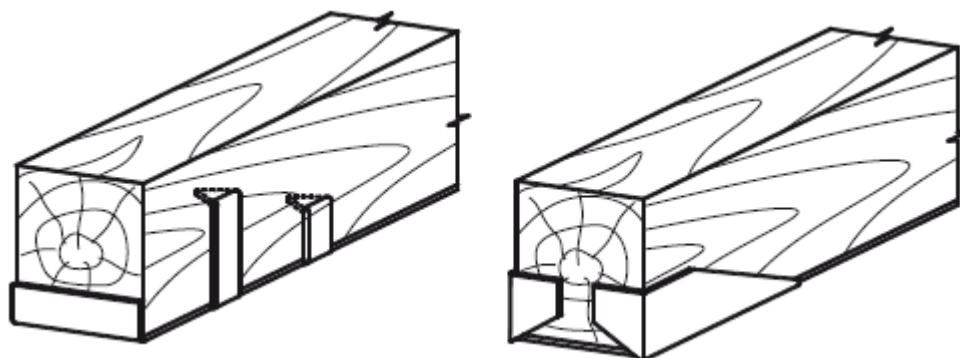


Рисунок 3. Брусчатые балки с усиленной растянутой зоной

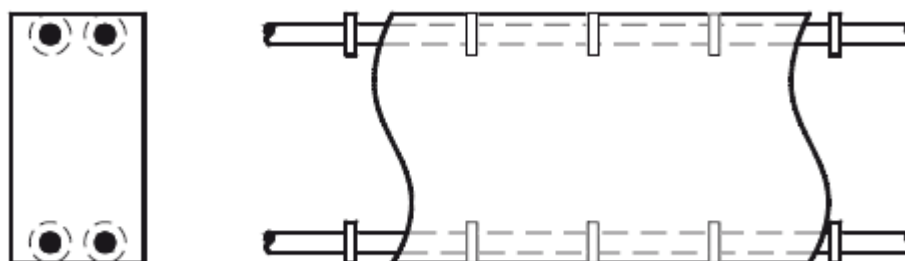


Рисунок 4. Конструкция армированной балки Х. Гранхольма

Конструкции, в которых арматура с древесиной соединялись механическим способом, не нашли применения именно как армированные вследствие того, что даже при значительном расходе стали из-за податливости соединения прочность и жесткость конструкции повышались незначительно. Разработка и освоение промышленностью выпуска эффективных синтетических клеев, способных обеспечить прочное и долговечное соединение разнородных материалов, позволили реально подойти к созданию клееных армированных деревянных конструкций.

Применение армирования позволяет совершенно по-новому и более эффективно решать узловые соединения и стыки деревянных конструкций, что повышает их сборность, облегчает транспортировку и монтаж, а также вопросы ремонта и реконструкции действующих предприятий. В современном строительстве более

перспективными являются конструкции, армированные стальными стержнями без предварительного напряжения, как наиболее надежные и простые в изготовлении, поскольку они не требуют сложного и дефицитного оборудования.

Первые разработки и исследования клееных армированных деревянных конструкций провел Х.Гранхольм. Соединение арматуры с древесиной в этих конструкциях выполнялось с помощью эпоксидных и фенолоформальдегидных клеев. Исследования, проведенные Х.Гранхольмом, показали, что прочность, жесткость и надежность балок (прямоугольного, двутаврового и коробчатого сечений), треугольных арок и плит покрытия, армированных гладкими стальными стержнями и полосами, значительно выше, чем у неармированных, а клеевое соединение арматуры с древесиной обладает достаточной прочностью даже при воздействиях отрицательной температуры и повышенной влажности.

Использование армированных балок в пролетных строениях мостов и треугольных арок в покрытиях производственных и складских зданий показали эффективность армированных конструкций в эксплуатационных условиях (рис. 5).

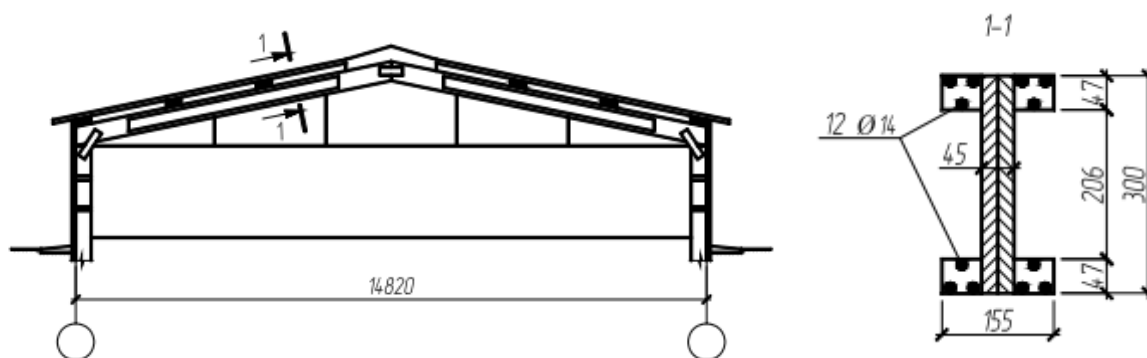


Рисунок 5. Клееная армированная треугольная арка в покрытии производственного здания (Швеция)

Так, фирма АВН Тохнсон (Швеция) освоила выпуск широкого ассортимента клееных армированных конструкций: балок 42 типоразмеров пролетом до 23 м, арок и рам пролетом до 30 м.

В 60-х гг. XX века в Чехословакии был налажен выпуск клееных армированных арок кругового очертания. Такие арки пролетом 36,2 м были применены в покрытии цехов химических комбинатов (рис.6). Клееный верхний пояс арки сечением

0,6x0,175 м имел армирование из шести стержней периодического профиля «Роскор» диаметром 16 мм, вклеенных при помощи клея «Эпокси-1200». В отличие от армированных деревянных конструкций, применяемых в Швеции, арматура арок для защиты от агрессивных воздействий и для повышения огнестойкости имела покрытие в виде слоя досок толщиной 25 мм.

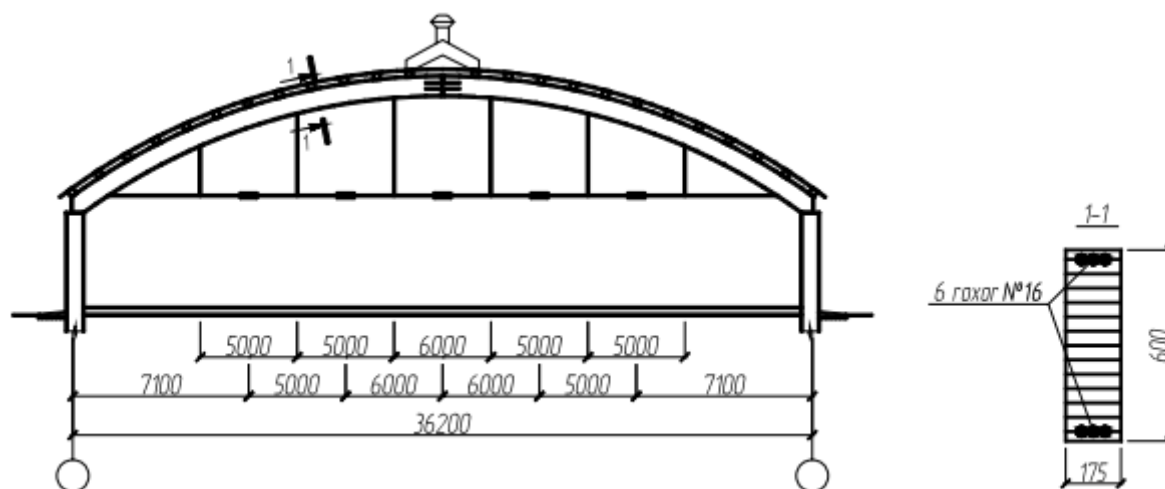


Рисунок 6. Клееная армированная арка в покрытии цеха химического завода

Высокая прочность, жесткость армированных деревянных конструкций при малой монтажной массе и положительный опыт их применения в Швеции, США и ЧССР привлекли внимание проектировщиков разных стран. В течение ряда лет у нас в стране проводились и проводятся всесторонние исследования клееных армированных конструкций, разрабатываются и внедряются новые виды. Построены производственные и складские здания с применением клееных армированных балок пролетом 12 и 18 м, треугольных арок и рам пролетом до 24 м, плит покрытия размерами 1,5 × 6 и 3 × 6 м (рис. 7, 8 и 9)

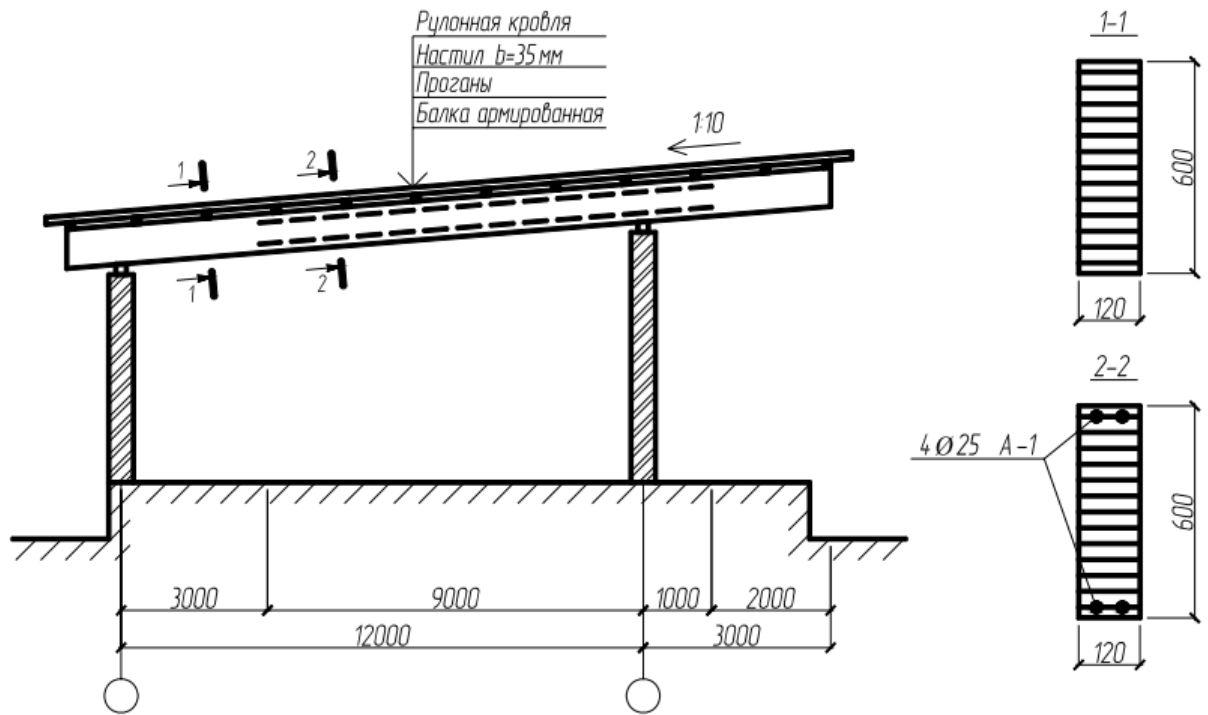


Рисунок 7. Клееные армированные балки переменной жесткости в покрытии складского здания (г. Владимир)

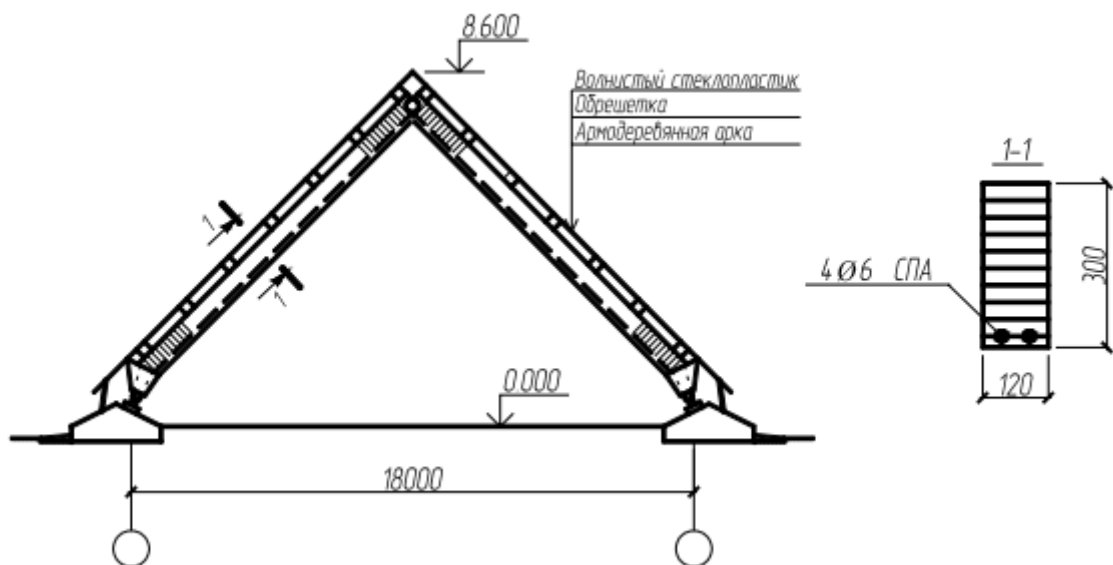


Рисунок 8. Клееные арки с предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой в покрытии склада химудобрений (Беларусь)

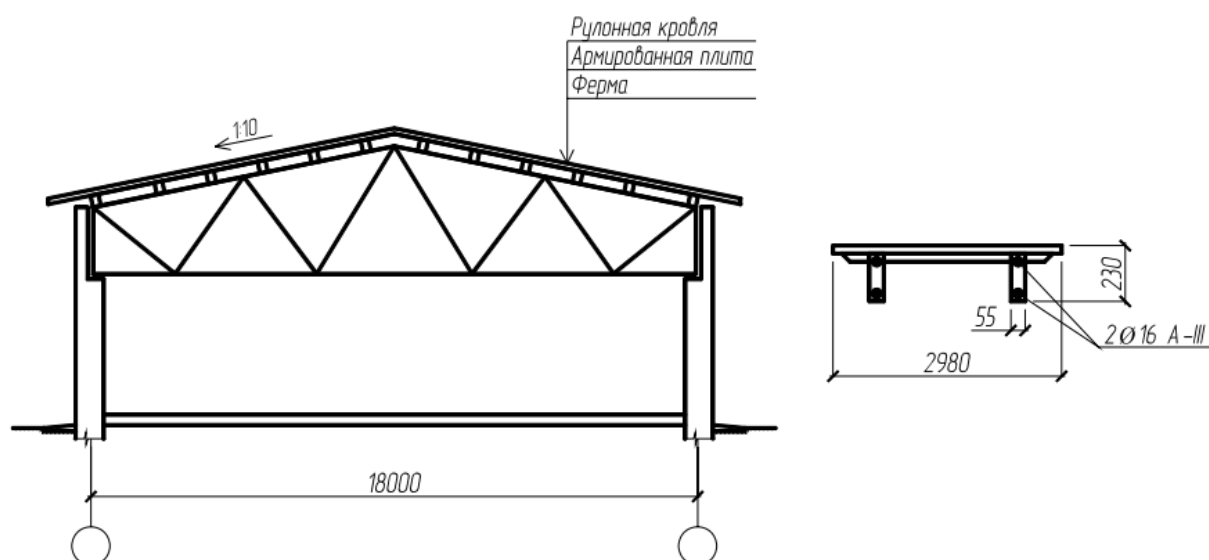


Рисунок 9. Армированные деревянные плиты размерами 3х6м в покрытии склада химудобрений (Беларусь)

Развитие армированных деревянных конструкций идет в двух направлениях: с использованием обычной арматуры и предварительно напряженной арматуры. Первый способ армирования находит более широкое применение, поскольку дает положительный эффект при относительно небольших трудозатратах и капиталовложениях в специальное технологическое оборудование. Кроме того, с появлением новых полимерных композитных материалов, таких как стеклопластик, углепластик, боропластик и др., появился ряд исследований деревянных конструкций с применением стекловолокна, стеклоткани и стеклопластиковой арматуры, что говорит об эволюции технологий конструирования деревянных конструкций и подчеркивает актуальность изучения данной тематики.

## 1.2. Обзор нормативной литературы

Как и при любых других видах проектирования, для разработки и расчетов деревянных конструкций применяются СП, ГОСТ, НПБ, другие нормативные акты. Их перечень зависит от вида объекта и характеристик конструкций. Вот наиболее важные нормативные акты для проектирования и расчета деревянных конструкций:

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

- СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции;
- ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований;
- СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.

Общими руководящими документами для всех направлений проектирования является Градостроительный кодекс РФ. Содержание проектов, в том числе в части расчетов, определяется по Постановлению Правительства РФ № 87.

Для проектирования и применения деревянных конструкций в СП 64.13330.2017 есть множество ограничений и условий. Например, нельзя использовать указанные конструкции из цельного дерева, если объект будет эксплуатироваться в условиях постоянной температуры свыше 50 градусов. Для материалов из клееной древесины температурный режим еще ниже – не более 35 градусов. Также для использования древесины в строительстве и отделки нужно соблюсти специальные нормы огнезащиты.

При выборе решений учитываются показатели температуры и влажности, в которых будут эксплуатироваться конструкции и объект. Это влияет на выбор вида древесины, характеристики строительных и отделочных материалов. В СП 64.13330.2017 указаны классы условий эксплуатации и функционального назначения деревянных и комбинированных конструкций. Кроме того, в таблицах СП есть расчетные характеристики всех материалов по сортам древесины. Например, разные показатели применяются для расчетов сосны, лиственницы, ели.

Однако, приступив к расчету армированных балок мы обнаружили, что в современных нормах уделено очень мало внимания работе сечения деревянной конструкции, усиленного арматурой. Имеющиеся методики расчета армированных сечений описаны в методических пособиях исследователей и основаны на проведенных испытаниях. Поэтому считаем особенно целесообразным провести анализ научных статей.

### 1.3. Обзор научных статей

В настоящее время одним из наиболее распространенных способов повышения прочности клееных конструкций из дерева является применение армирования.

					<b>АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Исследования в области армирования клееных деревянных конструкций ведутся во многих городах России и за рубежом, в странах Европы и США.

Армирование гнотоклееных деревянных балок осуществляют как стальной арматурой периодического профиля, так и стальной проволокой, сеткой или стеклопластиковой арматурой. Важно отметить, что балки, армированные сеткой, имеют сравнительно небольшую высоту сечения ( $1/25 \dots 1/30$  пролета) и меньшую массу, обусловленную меньшим расходом древесины. Однако данное преимущество компенсируется большей трудоемкостью изготовления в сравнении с неармированной балкой аналогичных геометрических размеров и параметров.

Вопрос армирования клееных деревянных конструкций широко рассматривается в литературе и научных трудах. Например, А.Р.Волик и И.И. Цветинский, авторы статьи «Работа армированных клееных балок с различными материалами армирования и их расположением» проводили исследование, целью которого являлось определение наиболее рационального расположения армирующих швов в сечении, а также выявление наиболее эффективного материала армирования. [11] Исследования, проведенные в Полоцком государственном университете, показали, что применение клеевых швов в сечении клееных несущих элементов влияет на напряженно-деформированное состояние клеодошчатых изгибаемых элементов.

Испытание проводилось с использованием двух партий клееных балок имеющих различное армирование и расположение армирующего слоя. В качестве армирующего слоя в растянутой зоне применялась стеклоткань и ровинг (рис.10). Одновременно с армированными балками проводилось испытание контрольной балки без армирующего слоя. Разрушение всех опытных балок в результате испытаний произошло по клеевым швам в результате расслоения или раскалывания древесины. Важно сказать, что слои, армированные стеклотканью и ровингом, сохраняли свою монолитность вплоть до полного разрушения.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

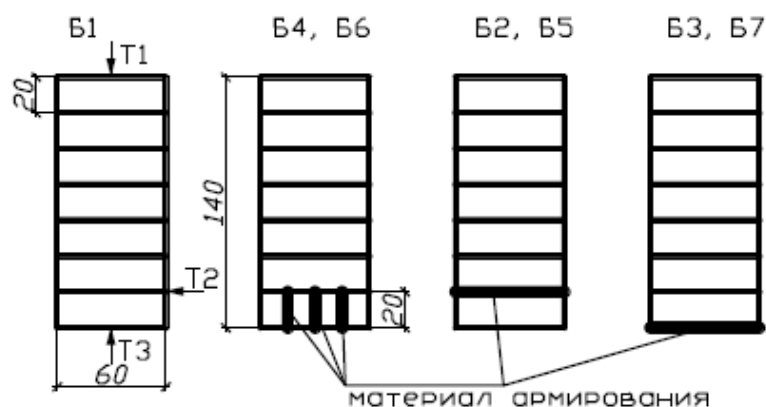


Рисунок 10. Поперечные сечения опытных балок.

В ходе обработки данных испытаний, авторами статьи было выявлено несоответствие теоретической величины расчетных разрушающих нагрузок нагрузкам, полученным экспериментально, что указывает на несовершенство методики расчета несущих клееных деревянных конструкций, усиленных армированным слоем в растянутых зонах.

Анализ результатов испытаний показал, что балки, армированные стеклотканью выдержали большие нагрузки, чем балки армированные ривингом, что указывает на лучшую несущую способность армированного стеклотканью клееного шва.

Устарханов О.М. и Калиева М.Х. в статье «Экспериментальные исследования клееных деревянных армированных балок» рассматривают экономичность и целесообразность использования дощатоклееных балок, армированных наклонной гладкой стальной арматурой (рис.11). Исследование проводилось в два этапа: теоретический расчет и натурные испытания. [13]

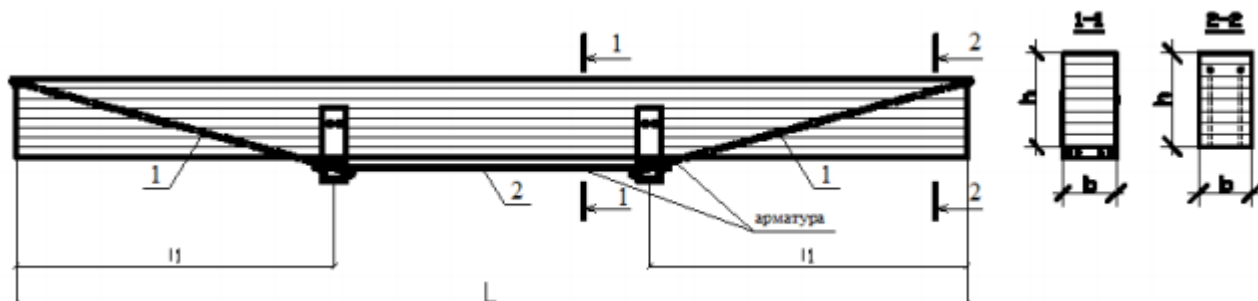


Рисунок 11. Армирование клееных деревянных балок



В ходе обработки экспериментальных данных авторы статьи сопоставляли прогибы от нагрузки, вычисленные теоретически с прогибами, полученными при натурных испытаниях и выявили значительное занижение показателя прогибов при теоретическом расчете, что указывает на необходимость проведения экспериментов и разработку более точной методики расчета дощатоклееных армированных балок.

Анализ результатов испытаний показал, значительное влияние армирования на напряженно-деформированное состояние дощатоклееной деревянной балки. Так, армирование балки металлическими стержнями уменьшило величину прогиба на 30-40% в сравнении с балкой с неармированным сечением. Кроме того, испытания показали, что оптимальный процент армирования балок составляет 1-2%, а его уменьшение ведет к незначительному увеличению жесткости балки.

В статье «Напряженно-деформированное состояние клеефанерных балок, армированных стальной и стеклопластиковой арматурой» Устархов О.М., Калиева М.Х. и Манапов Р.М. описывают эксперимент с симметричным и несимметричным армированием балки. [12] Кроме того, авторы испытывали различный тип балок (клефанерные, дощатоклеенные) и использовали различный способ их закрепления (шарнирный, жесткий).

Анализ результатов испытаний показал, что расхождение в напряженно-деформированном состоянии между симметричным и несимметричным армированием незначительное и составляет 6-8%. Однако, если учесть расход материала, то экономически более выгодным будет вариант несимметричного армирования балки.

Отдельного внимания заслуживают балки с предварительным гнущем древесины. Исследователи Савельев В.В. и Левинский Ю.Б. в статье «Экспериментальное исследование состояния клееных армированных балок с предварительным гнущем древесины» экспериментально подтвердили, что наибольшая податливость древесины гнущем достигается при гидротермической обработке и кратковременной выдержке в высокочастотных полях (СВЧ, ТВЧ), а наиболее пригодная для изготовления изогнутых заготовок древесина сосны. [14]

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Исследуя стабильность и пространственную неизменяемость профиля гнуто-клееных арок, авторы статьи из обычных и предварительно изогнутых заготовок выполнили модели трехслойных гнутоклееных балок двух типов – с предварительным гнутьем и без предварительного гнутья древесины. После двухлетней свободной выдержки образцов исследователи выявили снижение прогибов в предварительно гнутом образце на 9%, что значительно ниже показателей, характеризующих восстановительную способность древесины. Данный факт указывает на угасание отрицательных упруго-деформационных процессов при минимальных внутренних напряжениях в структуре древесины, вызванных предварительным гнутьем древесины. Кроме того, при длительной свободной выдержке образцов произошло изменение профиля по клеевым швам, что снизило несущую способность клеенных балок и их устойчивость к появлению дефектов и расслоений. Решением данной проблемы может быть армирование балок стеклотканью, ровингом и стеклопластиковой или стальной арматурой. Данное предположение нашло свое обоснование в следствие повторения испытаний на армированных стеклотканью предварительно гнутых балках. Наблюдение за состоянием балки после девяти месяцев свободной выдержки показало стабилизацию формы и кривизны через неделю и ее сохранение практически без изменений.

Таким образом авторами статьи были сделаны следующие выводы:

1) армирование и предварительное гнутье деревянных клееных балок обеспечивает повышение прочности, геометрической неизменяемости и надежности во времени;

2) уменьшение внутренних напряжений в клеевых швах балок за счет армирования углеволокном обеспечивает стабильность заданной формы.

Анализ научных статей, основанных на проведенных испытаниях, подтверждает актуальность и важность изучаемой темы. Армирование существенно уменьшает высоту сечения клееных конструкций, увеличивая при этом его прочность. Данное качество повышает конкурентоспособность конструкций из дерева, которые помимо выше перечисленных преимуществ обладают такими неоспоримыми качествами как эстетичность и экологичность.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

#### 1.4. Определение направления исследования

В ходе многочисленных исследований, проводимых по всему миру, было установлено, что несущая способность армированных деревянных конструкций в 1,5 раза выше, чем у аналогичных неармированных, что позволяет сделать вывод о значительной экономичности данных конструкций, которая составляет порядка 30-40% и позволяет снизить монтажную массу на 10%.

Экономичность проектирования, изготовления и монтажа – это то, что всегда приветствуется в строительной отрасли в виду высокой стоимости материала и работ. Однако, преследуя экономию, нельзя забывать о важности сохранения несущих характеристик конструкций, пренебрежение которыми незамедлительно повлечет за собой неблагоприятные последствия. Следовательно, одной из главных задач нашего исследования является сохранение прочности, устойчивости, геометрической неизменяемости конструкции, ее способности выдерживать высокие длительные нагрузки при сечении, запроектированном в пользу экономической выгоды.

В настоящее время для экономии материала (древесины) проектировщиками производится изменение сечения по длине гнутоклееной рамы. В месте возникновения наибольшего момента, а именно, карнизной зоне рамы, проектировщики увеличивают площадь сечения, в приопорных сечениях и коньковом узле – уменьшают.

В данной исследовательской работе рассматривается применение армирования сечения для восприятия усилий в карнизной зоне рамы, что позволит уменьшить размер сечения и сохранить его геометрию по всей длине.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НДС ГНУТОКЛЕЕНОЙ РАМЫ ИЗ ДОСОК С ПОМОЩЬЮ ПК LIRA 2013

В данной исследовательской работе выполняется расчет поперечной рамы

Влажность 65%;

Древесина – сосна 2 сорт;

Пролет – 18м;

Шаг рам – 4,5м;

Снеговой район – III;

Уровень ответственности – 2;

Назначение здания – спортивное.

### 2.1. Создание расчетной модели здания

Разработка расчетной модели ведется в ПК "ЛИРА-САПР 2013".

Высота рамы в коньке  $f = 6,31$ м.

Пролет рамы  $l = 18$ м.

Высота стойки 2,5м.

Принимаем толщину досок после острожки  $\delta = 1,6$  см.

Наименьший допустимый радиус кривизны гнутых участков:

$$r_{\min} = 150 * \delta = 150 * 1,6 = 240 \text{ см,}$$

где  $\delta$  – толщина доски.

Радиус кривизны гнутых участков (радиус выгиба) принимаем  $r = 2,5$ м.

Уклон ригеля  $i = 1:4$ ;  $\text{tg}\alpha = 1/4 = 0,25$ ;  $\alpha = 14^\circ$ .

1:  $X=0$ ;  $Y=0$ ;  $Z=0$ ;

2:  $X=0$ ;  $Y=0$ ;  $Z=2,5$ ;

3:  $X=9$ ;  $Y=0$ ;  $Z=6,31$ .

Для создания криволинейного участка выполним создание точек по окружности с радиусом 2,5м:

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

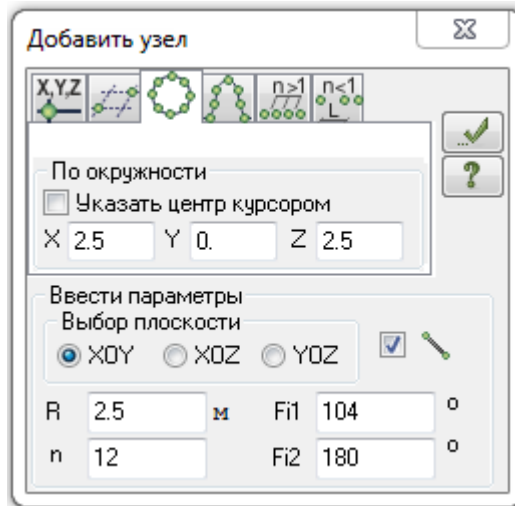


Рисунок 12. Параметры для создания участка в карнизе

Далее объединим полученные точки стержнями и получим половину рамы. Вторую половину рамы получим, отразив первую половину симметрично относительно плоскости  $YZ$ .

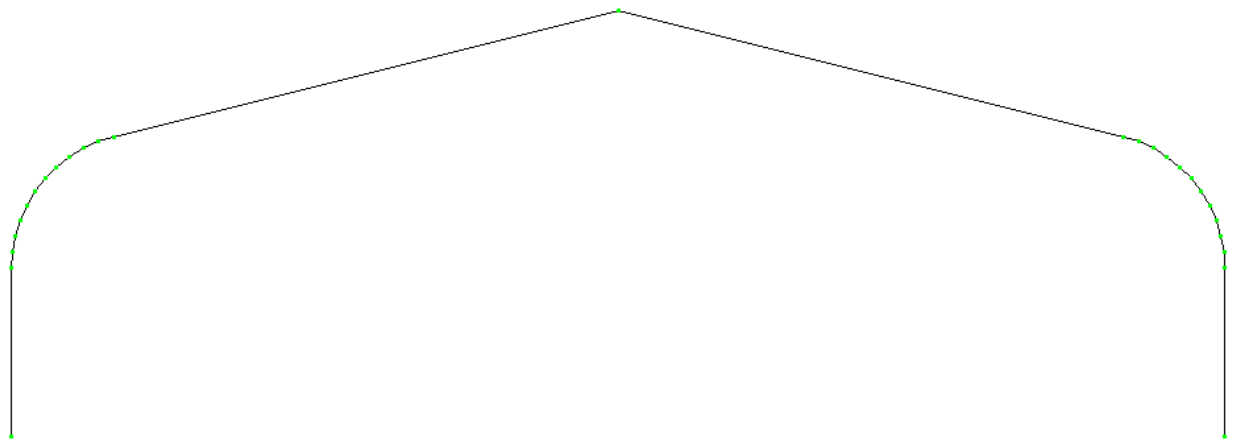


Рисунок 13. Расчетная модель рамы.

Далее зададим закрепление рамы. Для этого выделим нижние узлы и введем связи:

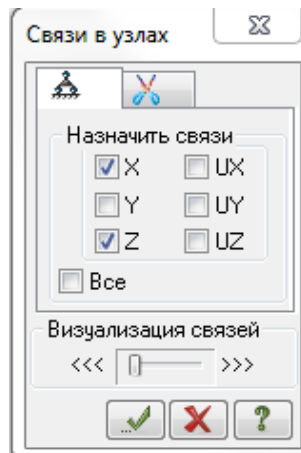


Рисунок 14. Закрепление нижних узлов рамы

Также необходимо ввести шарнир в коньковом узле. Для этого выделяем ригели и задаем шарнир относительно оси У:

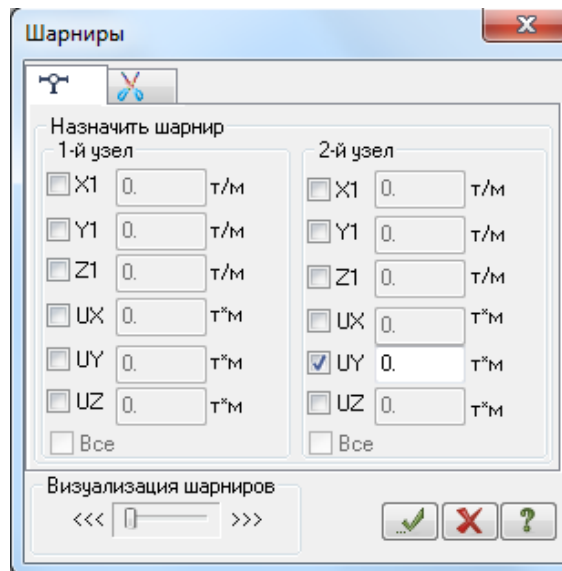


Рисунок 15. Введение шарнира в коньковом узле

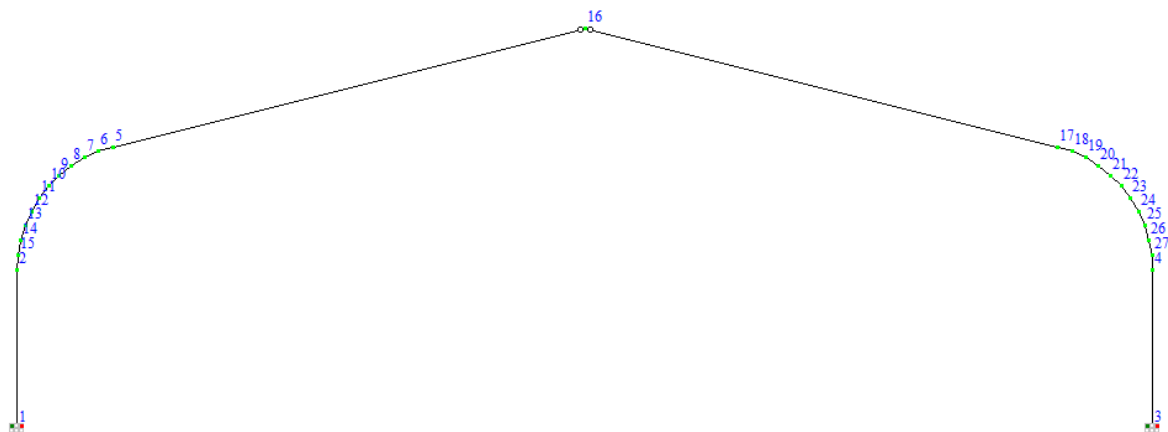


Рисунок 16. Расчетная модель рамы со связями и шарниром в коньковом узле.

Далее зададим жесткость элементов. С учетом припуска на механическую обработку примем ширину сечения 15 см, а высоту – 75,2см.  $75,2/1,6=47$  слоев досок. Удельный вес сосны при влажности 65% -  $0,72 \text{ т/м}^3$ . Зададим модуль упругости  $E=1000 \text{ т/м}^3=9806,65 \text{ кН/м}^2$ .

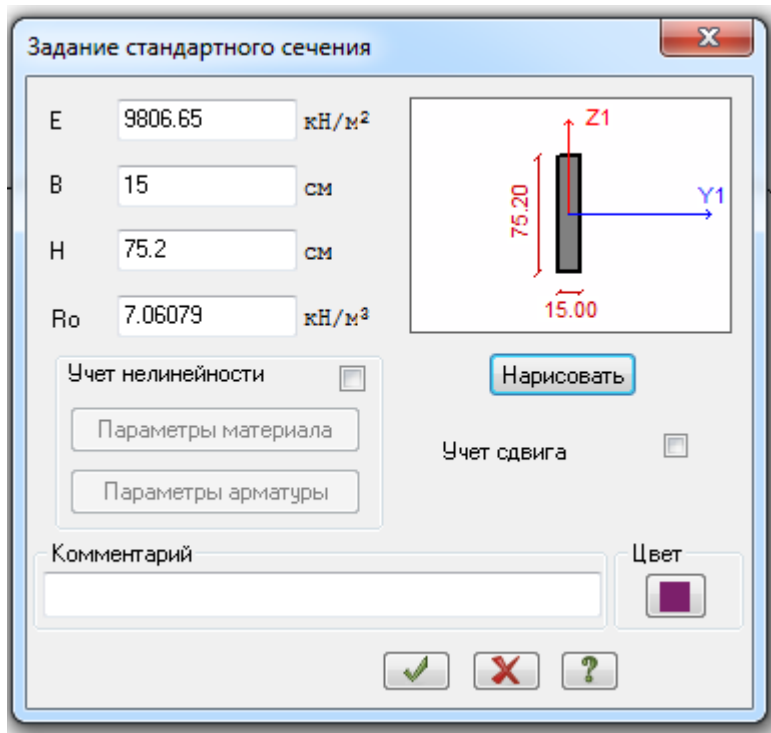


Рисунок 17. Характеристики сечения гнутоклееной рамы.

## 2.2. Сбор нагрузок

Подсчет нагрузок осуществлен в соответствии с требованиями действующих норм[2]. При расчете учитываются нагрузки от собственного веса конструкций и снеговая нагрузка. Подсчет ветровой нагрузки не осуществляется в связи с малой высотой рассматриваемого здания.

### 2.2.1. Постоянные нагрузки

#### 2.2.1.1. Собственный вес несущих и ограждающих конструкций

Собственный вес несущей рамы задается в программном комплексе автоматически отдельным загрузением.

Собственный вес ограждающих конструкций собираем в табличной форме (таблица 1 и таблица 2).

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Таблица 1. Собственный вес покрытия

Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности	Расчетная нагрузка кН/м <sup>2</sup>
Мягкая черепица RUFLEX 8 кг/м <sup>2</sup>	0,080	1,05	0,084
Защитный настил (сплошной) – доска 125х25 мм	0,125	1,1	0,138
Рабочая доска 125х50 мм через 300мм	0,100	1,1	0,110
Утеплитель $\gamma=10$ кг/м <sup>3</sup> толщиной 150 мм	0,015	1,2	0,018
Пароизоляция	0,001	1,2	0,001
Прогон 175х150	0,097	1,1	0,107
Подшивка из досок 25 мм	0,125	1,1	0,138
<b>Итого:</b>	<b>0,543</b>		<b>0,595</b>

С учетом ширины грузовой площади рамы (рамы расположены с шагом 4,5 м) нормативная погонная нагрузка на ригель рамы составит  $0,595 \text{ кН/м}^2 \cdot 4,5 \text{ м} = 2,68 \text{ кН/м}$ .

Таблица 2. Собственный вес стеновых панелей

Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности	Расчетная нагрузка кН/м <sup>2</sup>
Утепленная навесная стеновая панель	0,5	1,2	0,6

С учетом ширины грузовой площади рамы (рамы расположены с шагом 4,5 м) нормативная погонная нагрузка на колонну рамы составит  $0,595 \text{ кН/м}^2 \cdot 4,5 \text{ м} = 2,68 \text{ кН/м}$ .

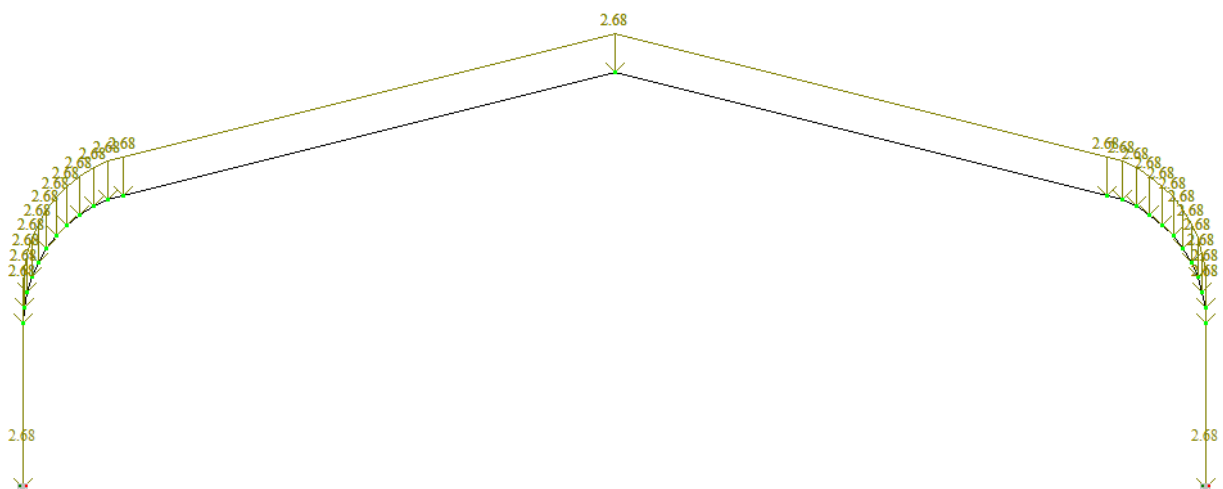


Рисунок 18. Нагрузка от собственного веса.



## 2.2.2. Временные нагрузки

Кроме постоянных нагрузок на раму действуют и временные нагрузки – ветровая и снеговая.

### 2.2.2.1. Ветровая нагрузка

При заданных геометрических размерах рамы  $l \approx 7$  м, углу наклона кровли  $14^\circ$  и высоте стойки  $H \approx 2,5$  м ветровая нагрузка не учитывается, так как воздействие ветра на вертикальные элементы рамы не значительно, а на ригеле ветровое воздействие уменьшает усилие, т.е разгружает его.

### 2.2.2.2. Снеговая нагрузка

Снеговая нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности вычисляется по формуле [2]:

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_t,$$

где  $S_g$  – нормативное значение веса снегового покрова для III снегового района, принимается равным  $150 \text{ кг/м}^2$  ( $0,15 \text{ т/м}^2$ ) в соответствии с таблицей 10.1[2];

$\mu$  – коэффициент перехода от веса снегового покрова к снеговой нагрузке на покрытие, принимается равным 1 в соответствии с приложением Б [4];

$C_e$  – коэффициент, учитывающий снос снега ветром;

$C_t$  – термический коэффициент, учитывает таяние снега за счет выделений тепла через крышу.

$$S_0 = 0,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ т/м}^2 = 1,47 \text{ кН/м}^2$$

Расчетное значение снеговой нагрузки при  $\gamma_f = 1,4$  (п.10.12[2]):

$$S_0 \cdot \gamma_f = 1,47 \cdot 1,4 = 2,1 \text{ кН/м}^2$$

С учетом ширины грузовой площади рамы (рамы расположены с шагом 4,5 м) нормативная погонная нагрузка на ригель рамы составит

$$1,47 \text{ кН/м}^2 \cdot 4,5 \text{ м} = 6,62 \text{ кН/м},$$

Расчетная погонная нагрузка на ригель рамы  $2,1 \text{ кН/м}^2 \cdot 4,5 \text{ м} = 9,45 \text{ кН/м}$

В соответствии с требованиями приложения Г СП 20.13330.2011 для зданий с однокатными и двускатными покрытиями и углом наклона покрытия меньше  $20^\circ$  обязательным является учет приложения симметричной снеговой нагрузки – на всем

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26



Строительные нормы: СП 20.13330.2011

Номер загрузки: 1. Собственный вес рамы

Вид загрузки: Постоянное (0)

Н группы объединяемых временных загрузок: 0

Учитывать знакопеременность:

Н группы взаимоисключающих загрузок: 0

NN сопутствующих загрузок: 0

Коэффициент надежности: 1.10

Доля длительности: 1.00

Не учитывать для II-го пред. сост.:

Ограничения для кранов и тормозов: Кран  Тормоз

Коэффициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б С)	5 сочет.	6 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00
3	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00
4	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загрузки...	Вид	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	Собственный...	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Вес огражде...	Постоянное ...	0 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
3	Снеговая	Кратковреме...	2 0 0 1 0 0 0 1.40 0.50	1.00 1.00 0.50 0.80
4	Снеговая 1	Кратковреме...	2 0 0 1 0 0 0 1.40 0.50	1.00 1.00 0.50 0.80

Рисунок 20. Таблица РСУ.

Выполним расчет рамы. Исходная и деформированная схемы представлены на рисунке 21

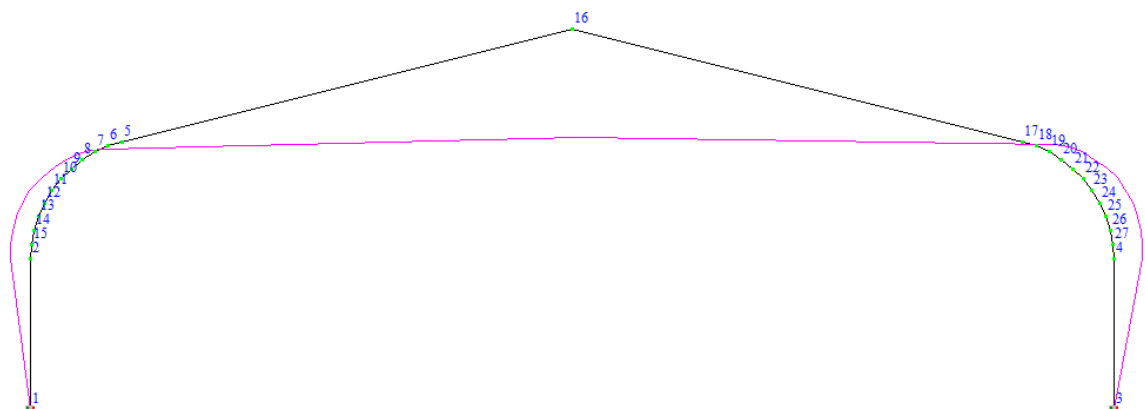
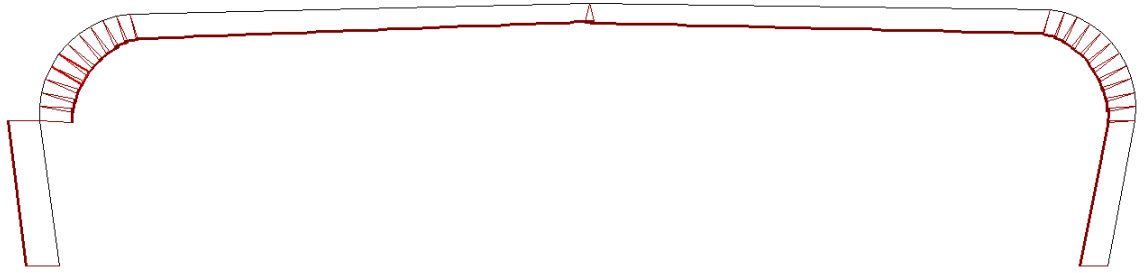

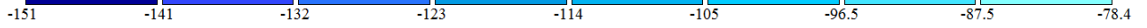


Рисунок 21. Исходная и деформированная схема рамы.

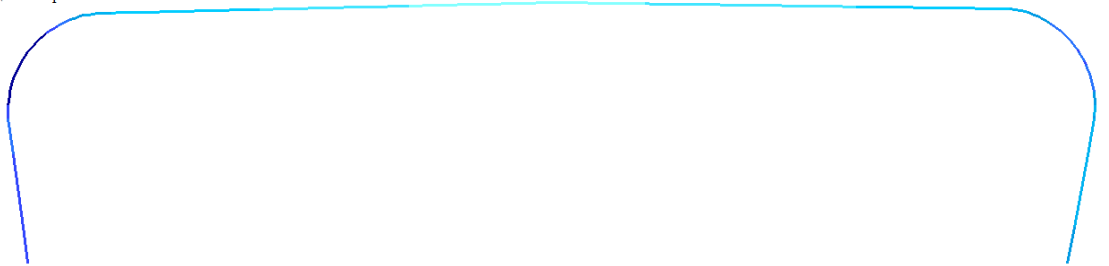
2  
Эпоха N  
Единицы измерения - кН



а)  Минимальное усилие -150.468



2  
Мозаика N  
Единицы измерения - кН




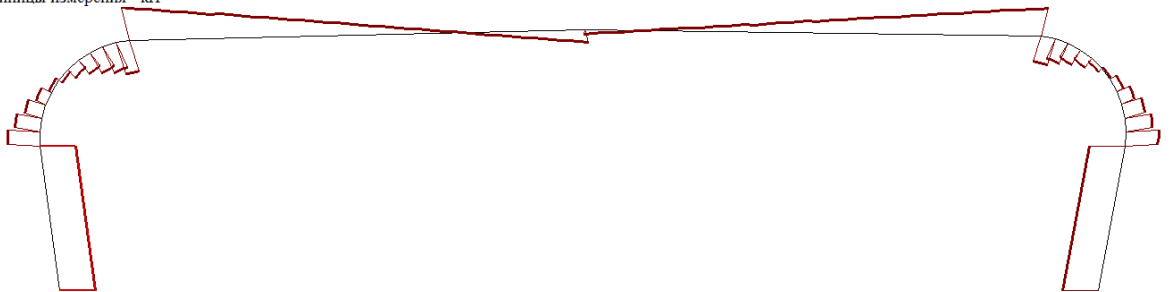

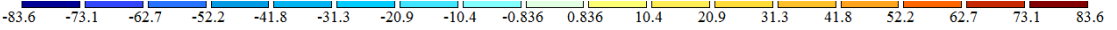
б) 

Рисунок 22 – а) эпюра растягивающих усилий в стержнях; б) мозаика растягивающих усилий в стержнях

2  
Эпоха Qz  
Единицы измерения - кН




а)  Минимальное усилие -83.5518  
Максимальное усилие 83.5318



2  
Мозаика Qz  
Единицы измерения - кН



б) 

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР

Лист

29

Рисунок 23 – а) эпюра поперечных усилий в стержнях; б) мозаика поперечных усилий в стержнях

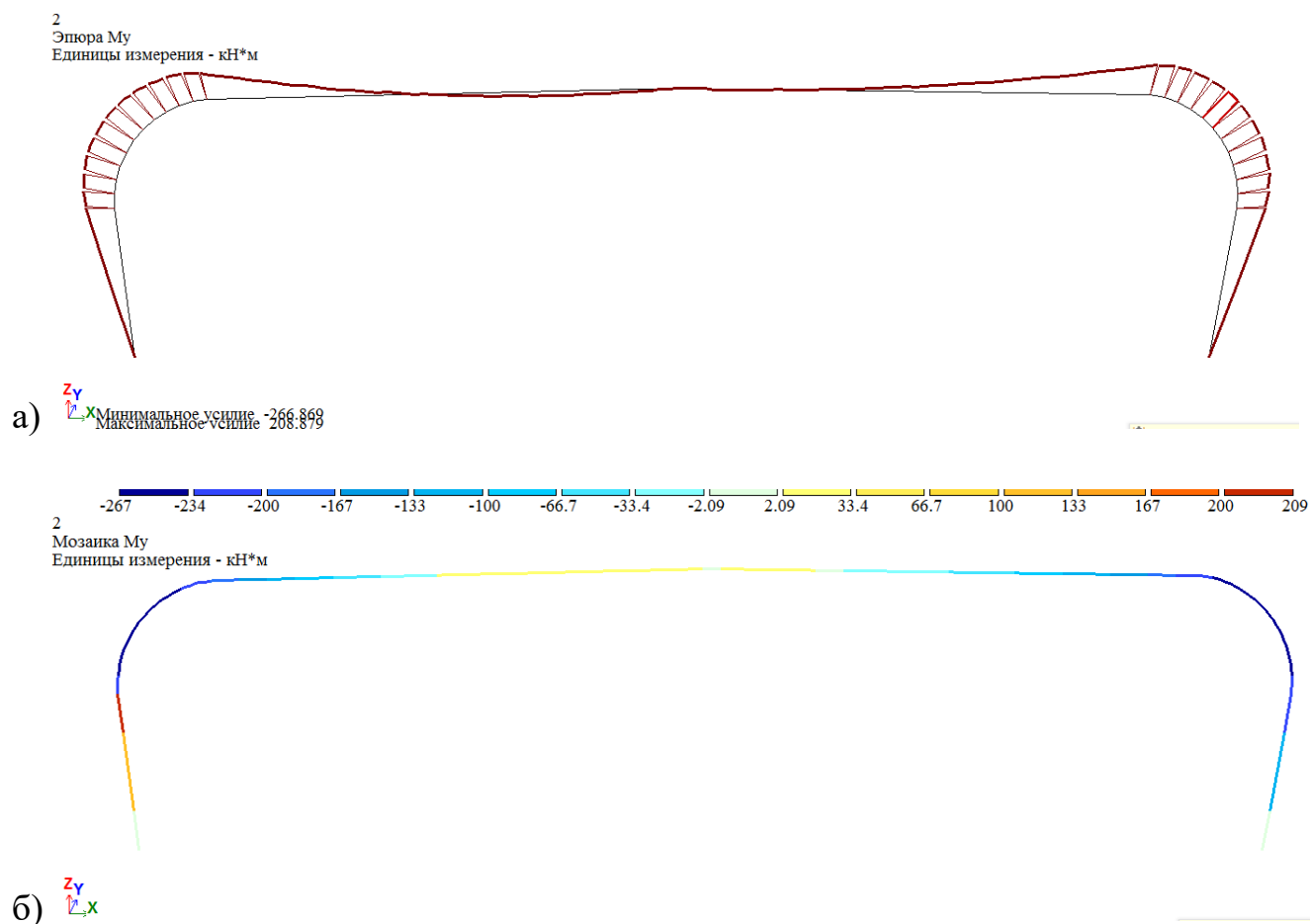


Рисунок 24 – а) эпюра изгибающих моментов в стержнях; б) мозаика изгибающих моментов в стержнях.

Выведем таблицу РСУ (прил. 1). Наихудшее сочетание усилий в карнизном гнутом элементе. Расчетные усилия равны:  $M=267\text{кН}$ ,  $N=150\text{ кН}$ ,  $Q=84\text{ кН}$ .

## 2.4. Расчет опасных сечений

Определим геометрические характеристики принятого сечения без арматуры.

Площадь принятого сечения:

$$F_{\text{д}} = bh = 15 \cdot 75,2 = 1\,128\text{см}^2;$$

где  $b=15\text{см}$  – ширина принятого сечения;

$h=75,2\text{см}$  – высота принятого сечения.

Момент инерции сечения:

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$J_D = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 75,2^3}{12} = 531\,600 \text{ см}^4,$$

Момент сопротивления сечения:

$$W_D = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 75,2^2}{6} = 14\,138 \text{ см}^3,$$

Вычислим расчетные характеристики древесины.

Расчетное сопротивление древесины:

$$R^p = R^A \cdot \gamma_n \cdot m_\tau \cdot m_3 \cdot m_6 \cdot m_{сп} \cdot m_{гн},$$

где  $R_n^A = 19,5 \text{ МПа}$  – расчетное сопротивление для сосны 2 сорта [табл.3, 3];

$\gamma_n = 1$  – коэффициент надежности для здания II класса ответственности по назначению [6];

$m_\tau = 1$  – коэффициент условий работы при установившейся температуре помещения ниже  $+35^\circ\text{C}$  [п.6.9б, 3];

$m_3 = 1$  – коэффициент условий эксплуатации [табл.9, 3];

$m_6 = 0,92$  – коэффициент условий работы для высоты сечения 75см [табл.10, 3];

$m_{сп} = 1,05$  – коэффициент условий работы для толщины слоев 25мм [табл.11, 3];

$m_{гн} = 0,82$  – коэффициент гнутья при  $r_k/a = 400/2,5 = 160$  [табл.12, 3];

$$R_n = 19,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 1,05 \cdot 0,82 = 15,5 \text{ МПа}$$

Расчетное сопротивление при сжатии равно расчетному сопротивлению при изгибе,  $R_{сж} = R_n = 15,5 \text{ МПа} = 1,55 \text{ кН/см}^2$ .

Расчетное сопротивление скалыванию поперек волокон:

$$R_{ск} = 0,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 1,05 \cdot 0,82 = 0,12 \text{ кН/см}^2$$

Предел текучести для стальной арматуры А300:

$$\sigma_\tau = 29,5 \text{ кН/см}^2$$

Расчетное сопротивление при растяжении для стальной арматуры:

$$R_a = 29,5 / 1,05 = 28,1 \text{ кН/см}^2$$

Рамные элементы работают как сжато-изгибаемые. Такие конструкции необходимо рассчитывать на совместное действие изгибающего момента и сжимающей силы. Определим требуемый момент сопротивления сечения:

$$W_{тр} = \frac{M}{R_n} = \frac{267 \cdot 100}{1,55} = 17\,225 \text{ см}^3;$$

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Тогда с учетом симметричного армирования требуемый коэффициент армирования:

$$\mu_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{тр}} - W_{\text{д}}}{3nW_{\text{д}}} = \frac{17225 - 14138}{3 \cdot 20 \cdot 14138} = 0,004;$$

где  $n = \frac{E_a}{E_d} = \frac{2 \cdot 10^6}{10^5} = 20$  – отношение модулей упругости арматуры и древесины,

Требуемая площадь арматуры:

$$F_{\text{тр}}^a = \mu_{\text{тр}} b h = 0,004 \cdot 15 \cdot 75,2 = 4,512 \text{ см}^2.$$

Примем  $4\text{Ø}12 \text{ A}300$  с  $F_a = 4,524 \text{ см}^2 > F_{\text{тр}}^a = 4,512 \text{ см}^2$ .

## 2.5. Проверка элементов гнутоклееной рамы

Определим геометрические характеристики армированного сечения.

Рабочая высота сечения:  $h_0 = h - d_a = 752 - 12 = 740 \text{ мм}$ .

Коэффициент армирования:  $\mu = 4,512 / 15 / 74 = 0,004$

Приведенный момент инерции:

$$J_{\text{пр}} = 15 \cdot \frac{74^3 (1 + 3 \cdot 20 \cdot 0,004)}{12} = 628\,090 \text{ см}^4$$

Приведенный момент сопротивления сечения:

$$W_{\text{пр}} = 2 J_{\text{пр}} / h_0 = 2 \cdot 628\,090 / 74 = 16\,970 \text{ см}^3$$

Приведенный статический момент инерции сечения:

$$S_{\text{пр}} = b h_0^2 (1 + 2 n \mu) / 8 = 15 \cdot 74^2 \cdot (1 + 2 \cdot 20 \cdot 0,004) / 8 = 11\,910 \text{ см}^3$$

Приведенный статический момент арматуры относительно нейтральной оси для сечений с двойной арматурой:

$$S_{\text{пр}}^a = n F_a h_0 / 4 = 20 \cdot 4,524 \cdot 74 / 4 = 1\,670 \text{ см}^3$$

Приведенная площадь сечения:

$$F_{\text{пр}} = F_d + n \cdot F_a = 1128 + 20 \cdot 4,524 = 1\,219 \text{ см}^2$$

$$F_d = 15 \cdot 75,2 = 1\,128 \text{ см}^2$$

Расчетная поверхность сдвига клевого шва «арматура – древесина»:

$$D_{\text{расч}} = 0,9 \cdot n_a \cdot 2\pi(d_a + 0,5) = 0,9 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (1,2 + 0,5) = 38,4 \text{ см}$$

$l_{\text{пр}} = 12,91 \text{ м}$  – расчетная длина полуарки.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$\eta = \sqrt{\frac{1+n\mu}{1+3n\mu}} = \sqrt{\frac{1+20 \cdot 0,004}{1+3 \cdot 20 \cdot 0,004}} = 0,93 \text{ – коэффициент приведения гибкости}$$

Приведенная гибкость:

$$\lambda_{\text{пр}} = \eta\lambda = \eta l_{\text{пр}} / \sqrt{\frac{J_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}}} = 0,93 \cdot 1291 / \sqrt{\frac{628090}{1219}} = 52,9$$

Коэффициент поперечного изгиба:

$$\varphi_{\text{пр}} = 1 - 0,8 \left( \frac{\lambda_{\text{пр}}}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left( \frac{52,9}{100} \right)^2 = 0,78$$

Коэффициент, учитывающий влияние дополнительного изгибающего момента от продольной силы:

$$\xi = 1 - \frac{N_1}{\varphi_{\text{пр}} F_{\text{пр}} R_c} = 1 - \frac{150}{0,78 \cdot 1219 \cdot 1,55} = 0,9$$

Расчетный изгибающий момент:

$$M_{\text{д}} = \frac{M}{\xi} = \frac{267}{0,9} = 297 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

При  $m_{\text{дл}}=0,7$  определяем коэффициенты перераспределения усилий:

$$K_{\text{дл}}^{\text{д}'} = \frac{1+n\mu}{1+n\mu/m_{\text{дл}}} = \frac{1+20 \cdot 0,004}{1+20 \cdot 0,004/0,7} = 0,969$$

$$K_{\text{дл}}^{\text{д}''} = \frac{1+3n\mu}{1+3n\mu/m_{\text{дл}}} = \frac{1+3 \cdot 20 \cdot 0,004}{1+3 \cdot 20 \cdot 0,004/0,7} = 0,923$$

$$K_{\text{дл}}^{\text{а}'} = \frac{1+n\mu}{m_{\text{дл}}+n\mu} = \frac{1+20 \cdot 0,004}{0,7+20 \cdot 0,004} = 1,385$$

$$K_{\text{дл}}^{\text{а}''} = \frac{1+3n\mu}{m_{\text{дл}}+3n\mu} = \frac{1+3 \cdot 20 \cdot 0,004}{0,7+3 \cdot 20 \cdot 0,004} = 1,319$$

Проверяем прочность сечений верхнего пояса:

а) по древесине:

$$\left( \frac{N_1}{F_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{\text{д}'} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{пр}}} \right) K_{\text{дл}}^{\text{д}''} = \left( \frac{150}{1219} \cdot 0,969 + \frac{297000}{16970} \right) \cdot 0,923 = 1,7 \text{ кН/см}^2$$

$$1,7 \text{ кН/см}^2 < R_c/\gamma_n = 1,55/0,95 = 1,63 \text{ кН/см}^2$$

Условие не выполняется.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33



Примем  $4\text{Ø}20$  А300 с  $F_a=12,57\text{см}^2$

Определим геометрические характеристики армированного сечения.

Рабочая высота сечения:  $h_0=h-d_a=752-20=732\text{мм}$ .

Коэффициент армирования:  $\mu = F_a/b/h_0 = 12,57/15/73 = 0,0115$

Приведенный момент инерции:

$$J_{\text{пр}} = b \frac{h_0^3 (1 + 3n\mu)}{12} = 15 \cdot \frac{73,2^3 (1 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0115)}{12} = 829\,000 \text{ см}^4$$

Приведенный момент сопротивления сечения:

$$W_{\text{пр}} = 2 J_{\text{пр}} / h_0 = 2 \cdot 829\,000 / 73 = 22\,700 \text{ см}^3$$

Приведенный статический момент инерции сечения:

$$S_{\text{пр}} = bh_0^2 (1 + 2n\mu) / 8 = 15 \cdot 73,2^2 \cdot (1 + 2 \cdot 20 \cdot 0,0115) / 8 = 14\,670 \text{ см}^3$$

Приведенный статический момент арматуры относительно нейтральной оси для сечений с двойной арматурой:

$$S_{\text{пр}}^a = nF_a h_0 / 4 = 20 \cdot 12,57 \cdot 73,2 / 4 = 4\,600 \text{ см}^3$$

Приведенная площадь сечения:

$$F_{\text{пр}} = F_d + n \cdot F_a = 1128 + 20 \cdot 12,57 = 1\,379 \text{ см}^2$$

Расчетная поверхность сдвига клевого шва «арматура – древесина»:

$$D_{\text{расч}} = 0,9 \cdot n_a \cdot 2\pi(d_a + 0,5) = 0,9 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (2 + 0,5) = 56,5 \text{ см}$$

$l_{\text{пр}} = 12,91$  м – расчетная длина полуарки.

$$\eta = \sqrt{\frac{1+n\mu}{1+3n\mu}} = \sqrt{\frac{1+20 \cdot 0,0115}{1+3 \cdot 20 \cdot 0,0115}} = 0,853 \text{ – коэффициент приведения гибкости}$$

Приведенная гибкость:

$$\lambda_{\text{пр}} = \eta\lambda = \eta l_{\text{пр}} / \sqrt{\frac{J_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}}} = 0,853 \cdot 1291 / \sqrt{\frac{829\,000}{1\,379}} = 44,9$$

Коэффициент поперечного изгиба:

$$\varphi_{\text{пр}} = 1 - 0,8 \left( \frac{\lambda_{\text{пр}}}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left( \frac{44,9}{100} \right)^2 = 0,84$$

Коэффициент, учитывающий влияние дополнительного изгибающего момента от продольной силы:

					Лист
					34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР

$$\xi = 1 - \frac{N_1}{\varphi_{\text{пр}} F_{\text{пр}} R_c} = 1 - \frac{150}{0,84 \cdot 1379 \cdot 1,55} = 0,92$$

Расчетный изгибающий момент:

$$M_{\text{д}} = \frac{M}{\xi} = \frac{267}{0,92} = 290 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

При  $m_{\text{дл}}=0,7$  определяем коэффициенты перераспределения усилий:

$$K_{\text{дл}}^{\text{д}'} = \frac{1 + n\mu}{1 + n\mu/m_{\text{дл}}} = \frac{1 + 20 \cdot 0,0115}{1 + 20 \cdot 0,0115/0,7} = 0,926$$

$$K_{\text{дл}}^{\text{д}''} = \frac{1 + 3n\mu}{1 + 3n\mu/m_{\text{дл}}} = \frac{1 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0115}{1 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0115/0,7} = 0,851$$

$$K_{\text{дл}}^{\text{а}'} = \frac{1 + n\mu}{m_{\text{дл}} + n\mu} = \frac{1 + 20 \cdot 0,0115}{0,7 + 20 \cdot 0,0115} = 1,323$$

$$K_{\text{дл}}^{\text{а}''} = \frac{1 + 3n\mu}{m_{\text{дл}} + 3n\mu} = \frac{1 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0115}{0,7 + 3 \cdot 20 \cdot 0,0115} = 1,216$$

Проверяем прочность сечений верхнего пояса:

а) по древесине:

$$\left( \frac{N_1}{F_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{\text{д}'} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{\text{д}''} \right) = \left( \frac{150}{1379} \cdot 0,926 + \frac{29000}{22700} \right) \cdot 0,851 = 1,173 \text{ кН/см}^2$$

$$1,173 \text{ кН/см}^2 < R_c / \gamma_n = 1,55 / 0,95 = 1,63 \text{ кН/см}^2$$

б) по арматуре:

$$\left( \frac{N_1}{F_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{\text{а}'} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{пр}}} K_{\text{дл}}^{\text{а}''} \right) n = \left( \frac{150}{1379} \cdot 1,323 + \frac{29000}{22700} \cdot 1,216 \right) \cdot 20 = 33,9 \text{ кН/см}^2$$

$$33,9 \text{ кН/см}^2 < R_a / \gamma_n = 37,1 / 0,95 = 39 \text{ кН/см}^2$$

в) опорное сечение на скалывание:

$$\frac{QS_{\text{д}}}{J_{\text{д}} b} = \frac{83,5 \cdot 10600}{661800 \cdot 15} = 0,09 \text{ кН/см}^2$$

$$0,09 \text{ кН/см}^2 < R_{\text{ск}} / \gamma_n = 0,105 / 0,95 = 0,11 \text{ кН/см}^2$$

г) клеевой шов, соединяющий арматуру и древесину:

$$\frac{QS_{\text{пр}}^{\text{а}} K_{\text{дл}}^{\text{а}''}}{\xi J_{\text{пр}} D_{\text{расч}}} = \frac{83,5 \cdot 4600 \cdot 1,216}{0,92 \cdot 829000 \cdot 56,5} = 0,0108 \text{ кН/см}^2$$

$$0,0108 \text{ кН/см}^2 < R_{\text{ск}} / \gamma_n = 0,105 / 0,95 = 0,11 \text{ кН/см}^2$$

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР				

д) устойчивость плоской формы изгиба при раскреплении верхнего пояса через  $l_p=2\text{м}$ :  $l_p=200\text{см} < 70b^2/h=70 \cdot 15^2/75,2=209$  – самообеспечена.

Прочность обеспечена.

## 2.6. Расчеты и конструирование узлов

### 2.6.1. Опорный узел

Усилия, действующие в узле:

Расчетная продольная сила в сечении при опоре  $N=140\text{кН}$ .

Расчетная поперечная сила в сечении  $Q= 83,5\text{кН}$ .

Материал – сосна 2-го сорта.

Ширина сечения  $b = 15\text{см}$ .

#### Проверка прочности на смятие торца стойки

Высота сечения  $h_{\text{оп}}= 75,2\text{см}$ .

Площадь сечения  $F=b \cdot h_{\text{оп}}= 15 \cdot 75,2 = 1\,128\text{ см}^2$ .

Расчетное сопротивление смятию базовых пород  $[R_{\text{см}}]= 15\text{МПа}$ .

Коэффициент  $m_{\text{п}}= 1.2$ .

Коэффициент  $m_{\text{в}}= 1$ .

Коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$ .

Расчетное сопротивление смятию с учетом коэффициентов

$$R_{\text{см}} = [R_{\text{см}}] \cdot m_{\text{п}} \cdot m_{\text{в}} \cdot \gamma_n = 15 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 1 = 18\text{МПа}.$$

Напряжение смятия:  $\sigma = N/F = 140/1128 = 0.124\text{ кН/см}^2$ .

Прочность смятия обеспечена, так как напряжения смятия

$$\sigma=0.124\text{кН/см}^2 < 18\text{кН/см}^2 = R_{\text{с}}.$$

#### Проверка напряжения смятия поперек волокон по площади примыкания стойки к упорной вертикальной диафрагме

Расчетное сопротивление смятию поперек волокон базовых пород:

$$[R_{\text{см},90}] = 3\text{МПа}.$$

Коэффициент  $m_{\text{п}}= 1.2$ .

Коэффициент  $m_{\text{в}}= 1$ .

Расчетное сопротивление смятию поперек волокон с учетом коэффициентов

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР

$$R_{cm,90} = [R_{cm,90}] * m_{п} * m_{в} = 3 * 1,2 * 1 = 3,6 \text{ МПа.}$$

Требуемая высота диафрагмы:

$$h_{тр} = Q / (b * R_{cm,90}) = 83,5 / (15 * 0,36) = 15,5 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем  $h_{д} = 16 \text{ см.}$

Площадь смятия стойки  $F_{см} = b * h_{д} = 15 * 16 = 240 \text{ см}^2$ .

Напряжения смятия поперек волокон по площади примыкания стойки к упорной вертикальной диафрагме:

$$\sigma = Q / F_{см} = 83,5 / 240 = 0,348 \text{ кН/см}^2.$$

Так как напряжения смятия стойки поперек волокон

$$\sigma = 0,348 \text{ кН/см}^2 < 0,36 \text{ кН/см}^2 = R_{cm,90}, \text{ прочность обеспечена.}$$

Рассчитываем упорную вертикальную диафрагму на изгиб как балку пролетом, равным  $b$ , частично защемленную на опорах, с учетом пластического перераспределения моментов

$$\text{Изгибающий момент } M = Q * b / 16 = 83,5 * 15 / 16 = 78,2 \text{ кН*см.}$$

Расчетное сопротивление стали класса С245  $R_y = 24 \text{ кН*см}^2$ .

$$\text{Требуемый момент сопротивления } W_{тр} = M / R_y = 78,2 / 24 = 3,258 \text{ см}^3.$$

Этому моменту сопротивления должен быть равен момент сопротивления сечения упорной диафрагмы определяемый по формуле:  $W = h_{д} * \delta^2 / 6$

$$\text{Тогда толщина диафрагмы } \delta = \sqrt{(6 * W_{тр} / h_{д})} = \sqrt{(6 * 3,258 / 16)} = 2,71 \text{ см.}$$

Принимаем  $\delta = 3 \text{ см.}$

Боковые пластины принимаем той же толщины. Площадь  $A_{оп} = 16 * 3 = 48 \text{ см}^2$ .

$$\text{Момент сопротивления } W = 16 * 9 / 6 = 24 \text{ см}^3. N = Q / 2 = 83,5 / 2 = 41,75 \text{ кН.}$$

$$\sigma = N / A + M / W = 41,75 / 48 + 78,2 / 24 = 4,13 \text{ кН/см}^2.$$

Так как напряжения в упорной диафрагме

$$\sigma = 4,13 \text{ кН/см}^2 < 24 \text{ кН/см}^2 = R_y, \text{ прочность диафрагмы обеспечена.}$$

Башмак крепим к фундаменту двумя анкерными болтами, работающими на срез и растяжение. Сжимающее усилие передаем непосредственно на фундамент.

Изгибающий момент, передаваемый от башмака на опорный лист равен:

$$M = Q * h_{д} / 2 = 83,5 * 16 / 2 = 668 \text{ кН*см.}$$

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Длина опорной плоскости башмака  $l = 32,5 \text{ см}$ .

Ширина свеса опорной плоскости башмака  $b = 9 \text{ см}$ .

Момент сопротивления опорной плоскости башмака:

$$W = 2 * b * l^2 / 6 = 2 * 9 * 32,5^2 / 6 = 3168,75 \text{ см}^3.$$

Сминающие напряжения под башмаком:

$$\sigma = M / W = 668 / 3168,75 = 0,211 \text{ кН/см}^2.$$

Материал фундамента - бетон класса В10, с призмической прочностью  $R_b = 6 \text{ МПа}$ .

Так как сминающие напряжения под башмаком

$$\sigma = 0,211 \text{ кН/см}^2 < 0,6 \text{ кН/см}^2 = R_b, \text{ прочность бетона обеспечена.}$$

Анкерные болты принимаем из стали 09Г2С по ГОСТ 19281–73\* диаметром 27мм.

Площадь болта брутто  $A_{бр} = 5,72 \text{ см}^2$ .

Площадь болта нетто  $A_{нт} = 4,59 \text{ см}^2$ .

Для того, чтобы срез воспринимался полным сечением болта, устанавливаем под гайками шайбы толщиной 10 мм. Усилия в болтах определяем по следующим формулам:

Растягивающее усилие

$$N_p = M / (2/3 * 2 * l) = 668 / (2/3 * 2 * 32,5) = 15,42 \text{ кН}.$$

$$\text{Срезающее усилие } N_{ср} = Q / 2 = 83,5 / 2 = 41,8 \text{ кН}.$$

Напряжение растяжения в сечении болта ослабленного резьбой (в пределах нарезки резьбы):

$$\sigma_p = N_p / A_{нт} = 15,42 / 4,59 = 3,36 \text{ кН/см}^2 < 0,8 * R_c * \gamma_c = 0,8 * 21 * 1 = 16,8 \text{ кН/см}^2$$

Коэффициент условия работы  $\gamma_c = 1$ .

Коэффициент, учитывающий неравномерную работу болтов – 0,8.

$$\text{Расчетное сопротивление } R_y = 23 \text{ кН/см}^2. \quad 0,8 * R_y * \gamma_c = 0,8 * 23 * 1 = 18,4 \text{ кН/см}^2.$$

$$\text{Напряжение среза: } \sigma_{ср} = N_{ср} / A_{бр} = 41,8 / 5,72 = 7,3 \text{ кН/см}^2.$$

$$\text{Расчетное сопротивление болта срезу } R_s = 0,58 R_y = 0,58 * 23 = 13,34 \text{ кН/см}^2.$$

Так как напряжения среза анкерного болта

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$\sigma_{ср} = 7,3 \text{ кН/см}^2 < 13,34 \text{ кН/см}^2 = R_s$ , прочность болта на срез обеспечена.

### 2.6.2. Коньковый узел

Коньковый узел выполняется с использованием деревянных накладок и болтов.

На накладки действует поперечная сила от односторонней снеговой нагрузки.

Поперечная сила от односторонней снеговой нагрузки:  $Q = 84 \text{ кН}$ .

Толщина накладки  $a = 10 \text{ см}$ .

Высота сечения:  $h_k = 75,2 \text{ см}$ .

Материал - сосна 2-го сорта.

Коэффициент  $m_{п} = 1,2$ .

Коэффициент  $m_{в} = 1$ .

Толщина слоя (доски) клееного сечения  $1,6 \text{ см}$ .

Коэффициент, учитывающий толщину слоев для клееных элементов  $m_{сл} = 1,136$ .

Коэффициент, учитывающий высоту сечения для клееных элементов  $m_{б} = 0,947$ .

Усилие, передающееся на первый, ближайший к коньку ряд болтов:

$$N_1 = Q * l_1 / l_2 = 84 * 60 / 45 = 112 \text{ кН},$$

где,

$l_1 = 60 \text{ см}$  – расстояние от конька до второго ряда болтов,

$l_2 = 45 \text{ см}$  – расстояние между болтами.

Усилие, передающееся на второй ряд болтов:

$$N_2 = N_1 - Q = 112 - 84 = 28 \text{ кН}.$$

Принимаем болты  $\varnothing 27 \text{ мм}$ .

Несущая способность в одном срезе болта при изгибе:

$$T_u = (1,8 * d^2 + 0,02 * a^2) * \sqrt{(m_{п} * m_{в} * K_a)} = \\ = (1,8 * 2,7^2 + 0,02 * 14^2) * \sqrt{(1,2 * 1 * 0,563)} = 14 \text{ кН},$$

$$\text{но не более } 2,5 * d^2 * \sqrt{(m_{п} * m_{в} * K_a)} = \\ = 2,5 * 2,7^2 * \sqrt{(1,2 * 1 * 0,563)} = 14,98 \text{ кН}.$$

Угол наклона ригеля  $\alpha_p = 14^\circ$ , при  $\alpha = 90 - 14 = 76^\circ$ .

$K_a = 0,563$  (табл.21 СП 64.13330.2011).

При смятии древесины:

$$T_a = 0,8 * a * d * m_{п} * m_{в} * K_a = 0,8 * 14 * 2,7 * 1,2 * 1 * 0,563 = 20,43 \text{ кН}.$$

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР

$$T_c = 0.8 * b * d * m_{\Pi} * m_B * K_a = 0,8 * 15 * 2,7 * 1,2 * 1 * 0,563 = 21,89 \text{ кН.}$$

$$T_{\min} = 14 \text{ кН.}$$

Число срезов болтов в первом ряду  $n_{\text{ср}} = 2$ .

Число двухсрезовых болтов в первом ряду

$$n_1 = N_1 / (T_{\min} * n_{\text{ср}}) = 112 / (14 * 2) = 4.$$

Принимаем  $n_1 = 4$  болта.

Во втором ряду:  $n_2 = N_2 / (T_{\min} * n_{\text{ср}}) = 28 / (14 * 2) = 1$ .

Принимаем  $n_2 = 1$  болт.

Смятие торцов полурамы под углом  $\alpha = 15^\circ$  к продольным волокнам:

$$\Sigma = N / (b * h_{\text{оп}}) = 83,5 / (15 * 75,2) = 0,074 \text{ кН/см}^2.$$

$$R_{\text{см}} / (1 + (R_{\text{см}} / R_{\text{см}90} - 1) * \sin^3 \alpha) = 15 / (1 + (15/3 - 1) * \sin^3 11,3) = 14,562 \text{ МПа.}$$

Проверяем накладку на изгиб.

Изгибающий момент  $M = Q * (l_1 - l_2) = 84 * (60 - 45) = 1260 \text{ кН*см.}$

Высота накладки  $h_n = 30 \text{ см.}$

Момент сопротивления накладки:

$$W_{\text{нт}} = 2 * a_n * h_n^2 / 12 = 2 * 10 * 30^2 / 6 = 3000 \text{ см}^3.$$

Напряжение в накладке:  $\sigma = M / W_{\text{нт}} = 1260 / 3000 = 0,42 \text{ кН/см}^2.$

Расчетное сопротивление древесины накладки на изгиб  $R_n = 14 \text{ МПа.}$

Расчетное сопротивление древесины накладки на изгиб с учетом коэффициентов  $R_n * m_{\Pi} * m_B = 14 * 1,2 * 1 = 16,8 \text{ МПа.}$

Так как напряжение в накладке  $\sigma = 0,42 \text{ кН/см}^2 < 1,68 \text{ кН/см}^2 = R_n * m_{\Pi} * m_B$ , следовательно прочность обеспечена.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ГНУТОКЛЕЕНОЙ РАМЫ ИЗ ДОСОК В ПК ANSYS WORKBENCH 2017

Моделирование напряжённо-деформированного состояния деревянных элементов сопряжено с определёнными трудностями. Древесина обладает анизотропией физико-механических свойств вследствие её анатомического строения (макρο-структуры) и микростроения составляющих её клеточных оболочек. Также на физические характеристики отдельного деревянного элемента влияют возраст дерева, порода, различные пороки. При кратковременном механическом воздействии в древесине возникают необратимые (пластические) деформации, вызванные изменением структуры материала. Также для древесных материалов характерны ползучесть и релаксация напряжений при длительных нагрузках. Наиболее трудным для моделирования работы древесины является её способность к раскалыванию. В настоящее время отсутствуют математические модели, адекватно описывающие вышеназванные физические эффекты в древесине (нелинейная работа), что вызывает трудности в анализе напряжённо-деформированного состояния деревянных конструкций с помощью МКЭ. Однако характер распределения напряжений в древесине можно достаточно корректно изучить при работе в условно упругой зоне деформирования, определившись с видом симметрии анизотропного материала.

Ортотропное тело (т. е. тело, имеющее 3 плоскости упругой симметрии). Оси координат, нормальные к плоскостям упругой симметрии, называются главными осями координат. В этой зафиксированной системе координат только 9 упругих постоянных независимы.

#### 3.1. Обрыв арматурных стержней

Для экономии материала стали произведем обрыв арматуры в сечении, способном выдержать нагрузку без усиления. Для определения такого сечения, произведем проверку в нескольких явных точках расчетной схемы.

1. Рассмотрим узел 2 расчетной схемы (рис.16).

Расчетные усилия в данном сечении равны:  $M=209$  кН,  $Q=83,5$  кН.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41



Расчет изгибаемого элемента по предельному состоянию первой группы, обеспеченного от потери устойчивости плоской формы деформирования производится по формулам:

на прочность по нормальным напряжениям (согласно п. 7.9 [3])

$$\sigma = M / W_{\text{расч}} \leq R_u$$

на прочность по касательным напряжениям (согласно п. 7.10[3])

$$\tau = Q * S_{\text{бр}} / (J_{\text{бр}} * b_{\text{расч}}) \leq R_{\text{ск}}$$

где

$M$  – расчетный изгибающий момент в элементе,

$W_{\text{расч}}$  – расчетный момент сопротивления поперечного сечения (для цельного сечения  $W_{\text{расч}} = W_{\text{нт}}$ );

$W_{\text{нт}}$  – площадь сечения нетто (ослабления сечения, расположенные на участке до 200 мм, должны совмещаться в одном сечении);

$Q$  – расчетная перерезывающая сила в элементе;

$S_{\text{бр}}$  – статический момент сечения;

$J_{\text{бр}}$  – момент инерции сечения;

$b_{\text{расч}}$  – расчетная ширина сечения;

$R_u$  – расчетное сопротивление изгибу;

$$R_u = R_u^A * m_{\text{дл}} * m_{\text{п}} * m_{\text{в}} * m_{\text{с.с}} / \gamma_n$$

$R_{\text{ск}}$  – расчетное сопротивление скалыванию.

$$R_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^A * m_{\text{дл}} * m_{\text{п}} * m_{\text{в}} * m_{\text{с.с}} / \gamma_n$$

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной влажности по таблице А2 приложения А [3]. В нашем примере по эксплуатационной влажности 65% находим по таблице 1[3] класс – 2. А по таблице 9 [3]  $m_{\text{в}}=1$ .

Учет породы древесины по таблице 5[1] сосны и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_{\text{п}}=1,2$ , для скалывания –  $m_{\text{п}}=1,2$ .

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

По таблице 3 [3] определяем расчетное сопротивление изгибу сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 1а)  $R_{и}^A=19,5\text{МПа}$  и расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (п. 5а)  $R_{ск}^A=2,4\text{МПа}$ .

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4 [1] при режиме загрузки «В», как наиболее часто используемом для нашего климатического района, от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок  $m_{дл}=0,66$ .

Учет срока службы бруса производим по таблице 13 [1] для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{с.с}=1$ .

Для класса надежности по ответственности КС-2 (все здания, кроме КС-1 – временные, КС-3 – уникальные или с массовым нахождением людей) согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014  $\gamma_n=1$  окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (сосна), сорту (2) и условиям эксплуатации (влажностью до 65%), используя найденные коэффициенты:

$$R_{и}=R_{и}^A * m_{дл} * m_{п} * m_{в} * m_{с.с} / \gamma_n = 19,5 * 0,66 * 1,2 * 1 * 1 / 1 = 13,9 \text{ МПа} = 13900 \text{ кН/м}^2$$

$$R_{ск}=R_{ск}^A * m_{дл} * m_{п} * m_{в} * m_{с.с} / \gamma_n = 2,25 * 0,66 * 1,2 * 1 * 1 / 1 = 1,78 \text{ МПа} = 1780 \text{ кН/м}^2$$

Найдем геометрические характеристики сечения. Расчетный момент сопротивления поперечного сечения:

$$W_{расч}=b * h^2 / 6 = 15 * 75,2^2 / 6 = 14\ 140 \text{ см}^3 = 0,014 \text{ м}^3$$

Момент инерции сечения:

$$J_{бр}=b * h^3 / 12 = 15 * 75,2^3 / 12 = 531\ 570 \text{ см}^3 = 0,53 \text{ м}^3$$

Статический момент сечения:

$$S_{бр}=b * h^2 / 8 = 15 * 75,2^2 / 8 = 10\ 600 \text{ см}^3 = 0,011 \text{ м}^3$$

Осуществим проверку сечения.

Прочность по нормальным напряжениям:

$$\sigma = M / W_{расч} \leq R_{и}$$

$$\sigma = 209 / 0,014 = 14\ 930 \text{ кН/м}^2 \leq 13\ 900 \text{ кН/м}^2$$

Условие не выполняется.

Данный факт говорит о том, что в сечении 2 (рис.16) для восприятия нагрузки необходима арматура. Рассмотрим сечение, находящееся на высоте 2200 мм от опоры.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

$$M=184 \text{ кН/м}^2$$

Прочность по нормальным напряжениям:

$$\sigma = M/W_{\text{расч}} \leq R_u$$

$$\sigma = 184/0,014 = 13\,143 \text{ кН/м}^2 \leq 13\,900 \text{ кН/м}^2$$

Условие выполняется.

Прочность по касательным напряжениям:

$$\tau = Q \cdot S_{\text{бр}} / (J_{\text{бр}} \cdot b_{\text{расч}}) \leq R_{\text{ск}}$$

$$\tau = 83,5 \cdot 0,01 / (0,53 \cdot 0,15) = 10,5 \text{ кН/м}^2 \leq 1780 \text{ кН/м}^2$$

Условие выполняется.

2. Рассмотрим сечение рамы, находящееся в следующих координатах:  $x=1,89\text{м}$ ;  
 $y=4,53\text{м} - 0,39\text{ м}$  от 5 узла (рис.16).

Расчетные усилия в данном сечении равны:  $M=180 \text{ кН}$ ,  $Q=75 \text{ кН}$ .

Прочность по нормальным напряжениям:

$$\sigma = M/W_{\text{расч}} \leq R_u$$

$$\sigma = 180/0,014 = 12\,857 \text{ кН/м}^2 \leq 13\,900 \text{ кН/м}^2$$

Условие выполняется.

Прочность по касательным напряжениям:

$$\tau = Q \cdot S_{\text{бр}} / (J_{\text{бр}} \cdot b_{\text{расч}}) \leq R_{\text{ск}}$$

$$\tau = 75 \cdot 0,01 / (0,53 \cdot 0,15) = 9,4 \text{ кН/м}^2 \leq 1780 \text{ кН/м}^2$$

Условие выполняется.

Согласно п. 10.3.24 [8] базовая (основная) длина анкеровки определяется по формуле:

$$l_{0,an} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s} \quad (8)$$

где  $A_s$  и  $u_s$  - соответственно площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры и периметр его сечения, определяемые по номинальному диаметру стержня;

$R$  - расчетное сопротивление сцепления арматуры с деревом, принимаемое равномерно распределенным по длине анкеровки и определяемое по формуле:

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$R = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot R_{сж} \quad (9)$$

где  $R_{сж}$ - расчетное сопротивление дерева осевому сжатию;

$\eta_1$  - коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры, принимаемый по п. 10.3.24 [8];

$\eta_2$  - коэффициент, учитывающий влияние размера диаметра арматуры, принимаемый по п. 10.3.24 [8].

$$R = 15,5 \cdot 1,0 \cdot 2,5 = 38,75 \text{ МПа}$$

Базовая длина анкеровки:

$$l_{0,an} = \frac{435 \cdot \pi \cdot d_s^2}{38,75 \cdot 4 \cdot \pi \cdot d_s} = \frac{435 \cdot 20}{155} = 0,5 \text{ см}$$

Расчет показал незначительность размера анкеровки арматуры в дереве, в следствии чего произведем обрыв в сечении стойки на расстоянии 2200 от опоры. С другой стороны от карнизной зоны, на расстоянии 0.39 м от 5 узла, ситуация с анкеровкой аналогична.

### 3.2. Создание геометрической модели

Модель создается в подпрограмме DesignModeler. Для сокращения времени расчета будем моделировать четверть рамы. Необходимо создать два эскиза – для сечения рамы и для её профиля. В плоскости XY выполняем скетч Sketch1 в виде профиля сечения.

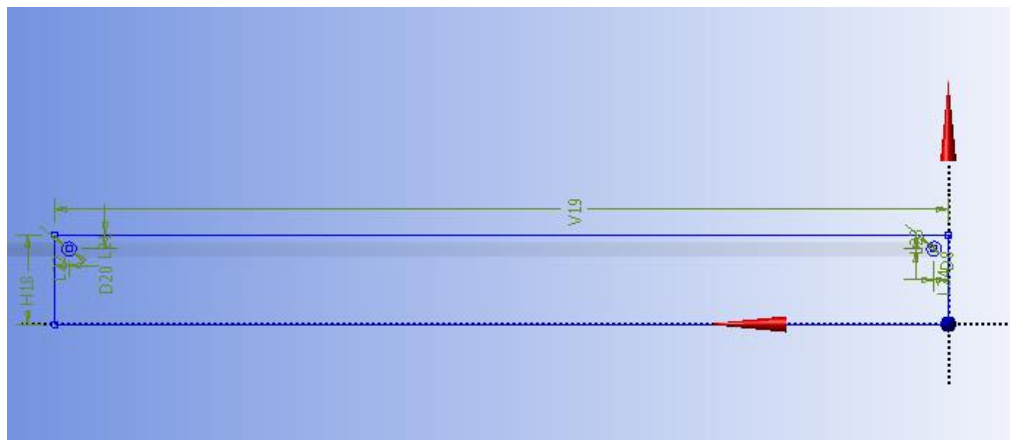


Рисунок 25 Эскиз сечения для модели с 4 армирующими стержнями

При помощи простановки размеров моделируем принятое сечение. Для упрощения расчетной схемы примем размеры полусечения 75x7,5см. Диаметр стержневой арматуры 2см.

В плоскости YZ выполняем Sketch2 в виде кривой, повторяющей профиль полурамы.

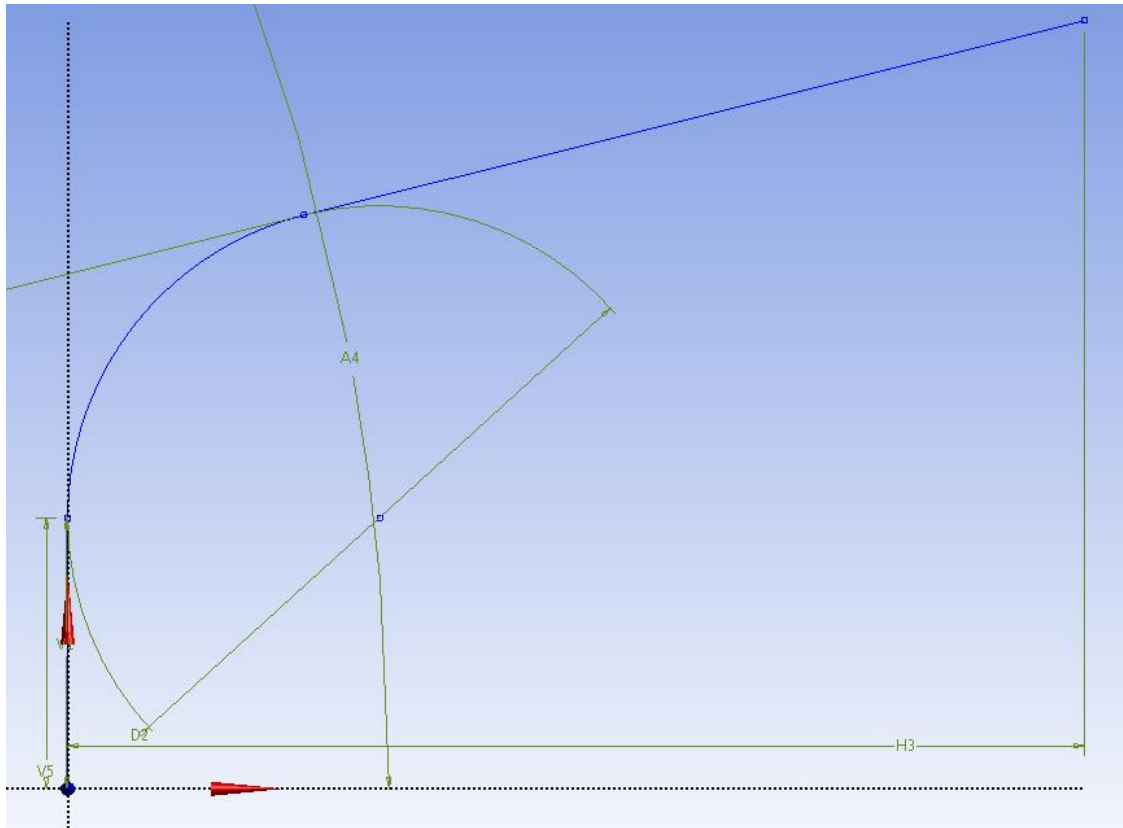


Рисунок 26 Профиль половины рамы

[-] Details of Sketch2	
Sketch	Sketch2
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
[-] Dimensions: 5	
<input type="checkbox"/> A4	194 °
<input type="checkbox"/> D2	5750 mm
<input type="checkbox"/> H3	9375 mm
<input type="checkbox"/> V1	2500 mm
<input type="checkbox"/> V5	2500 mm
[-] Edges: 3	
Line	Ln22
Circular Arc	Cr24
Line	Ln25

Рисунок 27 Размеры для Sketch2

Далее при помощи команды Sweep выполняем моделирование полурамы. В качестве сечения для вытягивания выбираем Sketch1. Профиль, вдоль которого выполняется команда, - Sketch2.

Details of Sweep2	
Sweep	Sweep2
Profile	Sketch1
Path	Sketch2
Operation	Add Material
Alignment	Path Tangent
<input type="checkbox"/> FD4, Scale (>0)	1
Twist Specification	No Twist
As Thin/Surface?	No
Merge Topology?	No
Profile: 1	
Sketch	Sketch1

Рисунок 28 Параметры команды Sweep

В результате команды получаем твердотельную модель с отверстиями для создания арматуры.

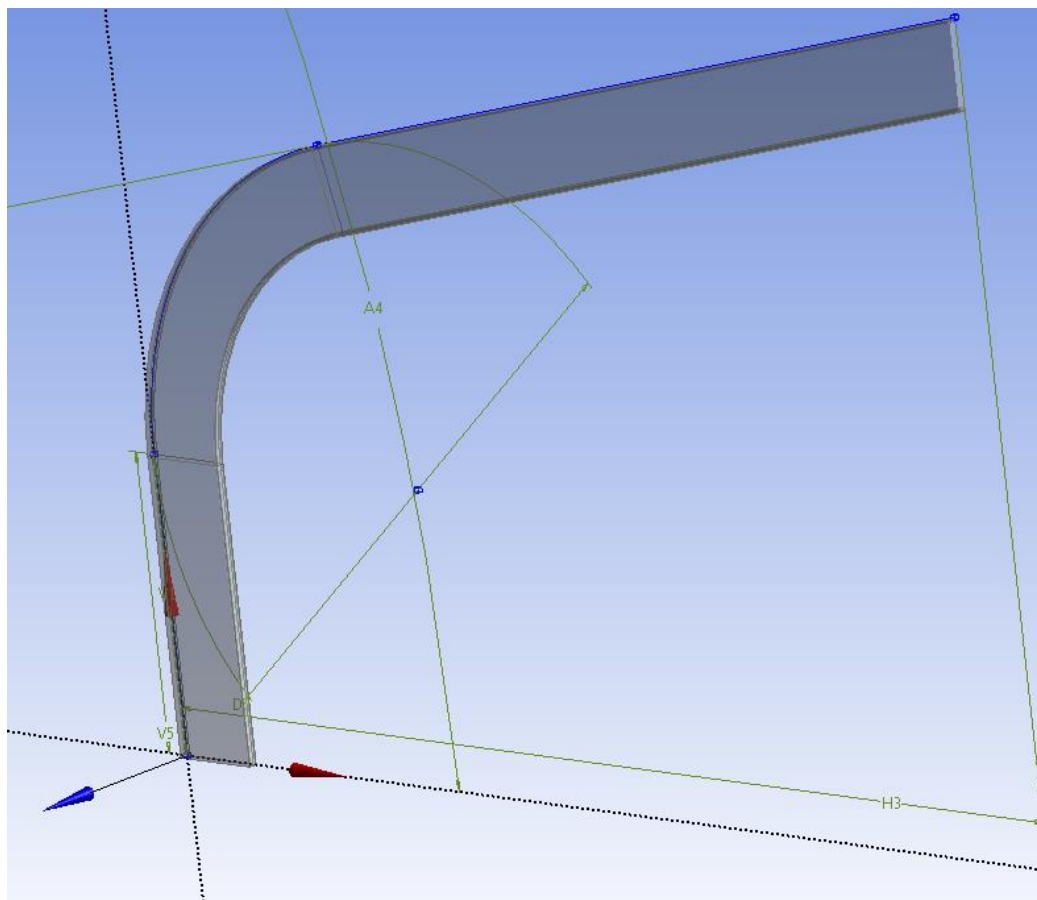


Рисунок 29 Модель четверти рамы

Для моделирования арматуры будем использовать команду Fill. Необходимо выполнить команду Freeze, для того чтобы новая геометрия не была присоединена к ранее созданной. Далее выделяем оболочки отверстий и выполняем команду Fill.

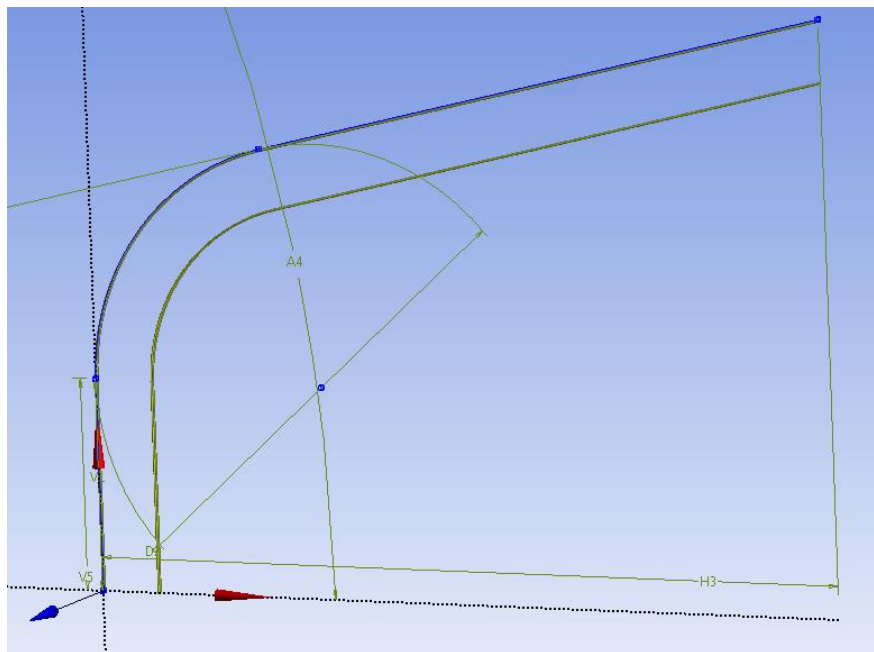


Рисунок 30 Созданные арматурные стержни

Для упрощения работы с сеткой отделим нижний и верхний слой основного массива.

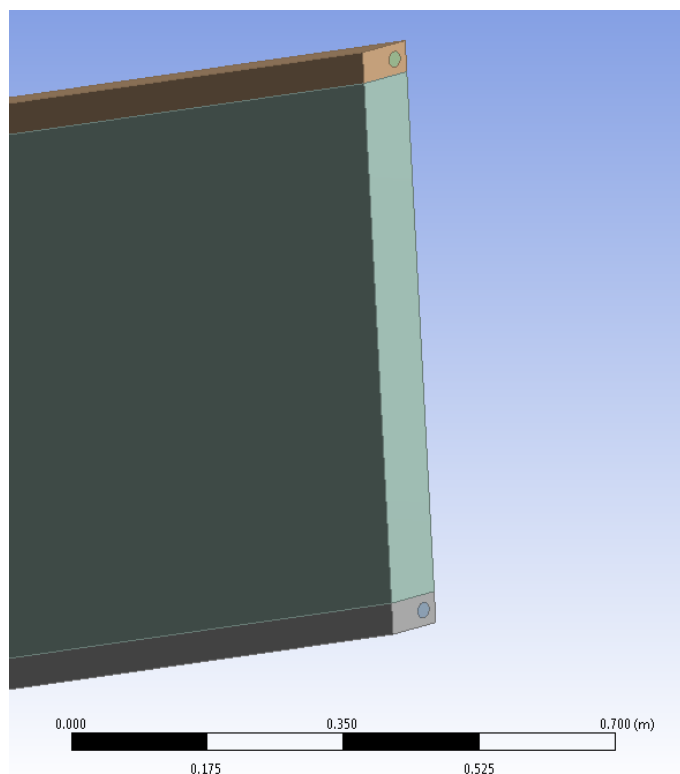


Рисунок 31 Вид сечения с выделенными слоями в коньке

Общий вид полурамы представлен на рисунке ниже.

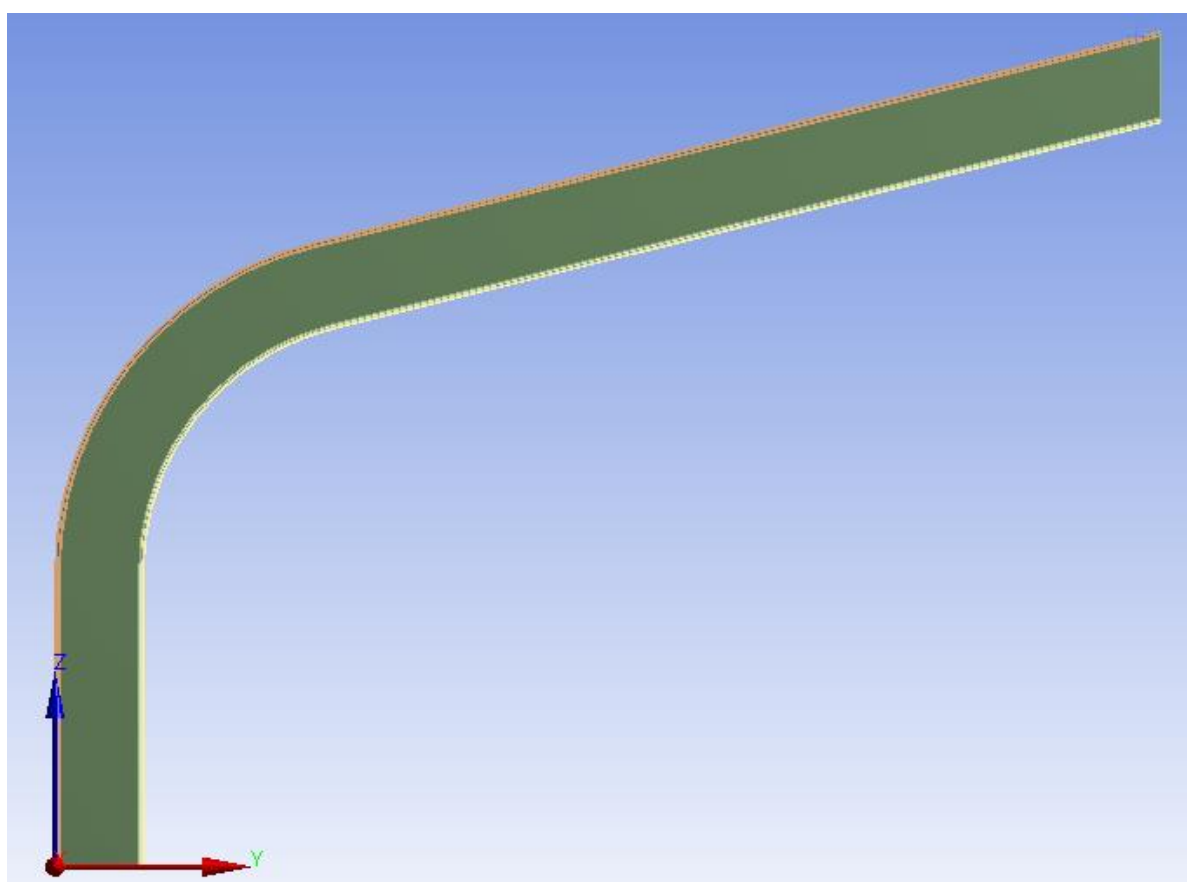


Рисунок 32 Общий вид четверти рамы

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49



Далее необходимо закрыть DesignModeler и перейти в подраздел Model для дальнейшей работы с расчетной моделью.

### 3.3. Создание расчетной модели

Параметры материалов представлены на рис. 34-35.

Density	7.2e-07 kg/mm <sup>3</sup>
<b>Structural</b>	
▼Elasticity	
Young's Modulus X direction	222 MPa
Young's Modulus Y direction	222 MPa
Young's Modulus Z direction	5540 MPa
Poisson's Ratio XY	0.45
Poisson's Ratio YZ	0.018
Poisson's Ratio XZ	0.018
Shear Modulus XY	400 MPa
Shear Modulus YZ	400 MPa
Shear Modulus XZ	400 MPa
Compressive Yield Strength	15.5 MPa
Tensile Yield Strength	10.7 MPa

Рисунок 33 Параметры материала «Древесина»

Density	7.85e-06 kg/mm <sup>3</sup>
<b>Structural</b>	
▼Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2e+05 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Bulk Modulus	1.6667e+05 MPa
Shear Modulus	76923 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-05 1/°C
Compressive Ultimate Strength	467 MPa
Compressive Yield Strength	281 MPa
Tensile Ultimate Strength	467 MPa
Tensile Yield Strength	281 MPa

Рисунок 34 Параметры материала «Сталь»

Зададим для основного материала рамы материал «Древесина». Для арматуры – «Сталь».

Во вкладке Model создадим пункт Symmetry. Выполним симметрию в коньковом узле и по боковой поверхности рамы.

ANSYS Workbench автоматически создает контактные пары между объемными объектами. Между созданными объектами образовано 14 контактных пар (рис. 36). Для каждой пары можно задавать необходимые свойства контакта. В данной работе, с учетом того, что арматура соединяется с древесиной при помощи эпоксидной клея, примем соединение Bonded. Такой вид соединения обеспечивает объединение перемещений узлов на контактирующей поверхности.

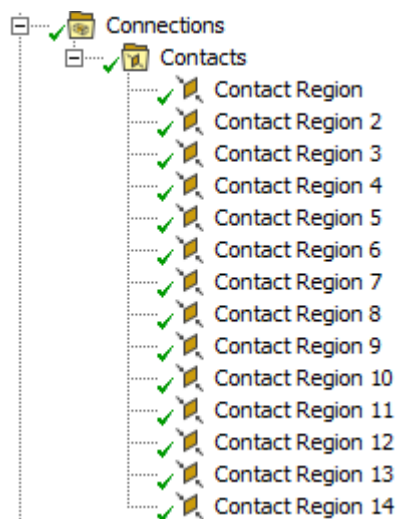


Рисунок 35 Контактные пары в дереве проекта

### 3.4. Моделирование сетки

Процесс создания конечноэлементной сетки является важнейшим этапом численного моделирования. От качества созданной сетки напрямую зависит возможность и качество выполнения расчета, его сходимости, корректность полученных результатов.

При автоматической генерации сетки возникает много элементов треугольной формы. Такой метод разбиения сетки увеличивает время расчета, ухудшает полученные результаты.

Для создания регулярной сетки выберем метод Sweep. Параметры этого метода аналогичны одноименной команде геометрического построения. Необходимо выбрать объект и поверхность, на основании которой будет разбиваться сетка (рис. 37). Также зададим число разбиений по длине элемента – 200.

☐ Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
☐ Definition	
Suppressed	No
Method	Sweep
Algorithm	Program Controlled
Element Order	Use Global Setting
Src/Trg Selection	Manual Source
Source	1 Face
Target	Program Controlled
Free Face Mesh Type	All Quad
Type	Number of Divisions
<input type="checkbox"/> Sweep Num Divs	200
Element Option	Solid
☐ Advanced	
Sweep Bias Type	No Bias

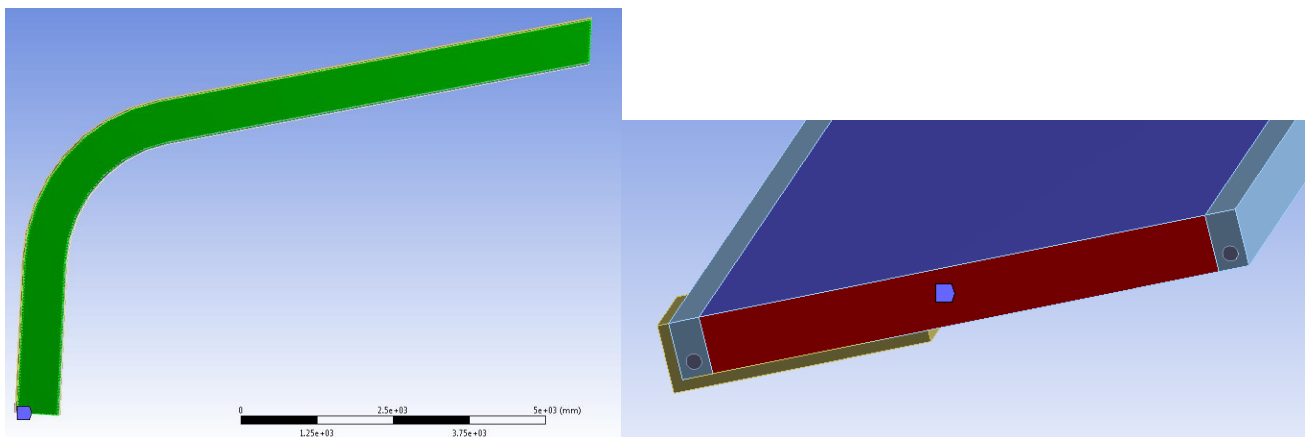


Рисунок 36 Параметры команды Sweep для центрального элемента древесины и выбранные для расчета элементы

Также необходимо задать размер разбиения элемента при помощи.

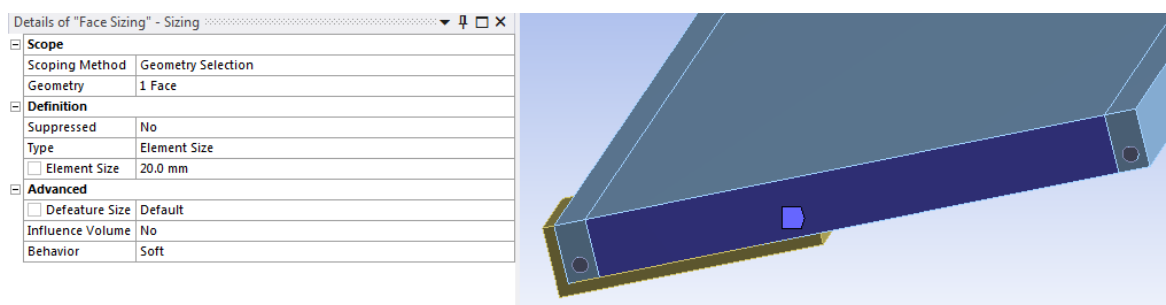


Рисунок 37 Параметры функции Sizing и выбранный элемент

Выберем размер элемента, равный 10мм для нижней плоскости древесины, 5мм для арматуры и 10мм для опорной пластины.

Опорная пластина смоделирована двумя элементами типа Solid высотой 30см и толщиной 15мм.

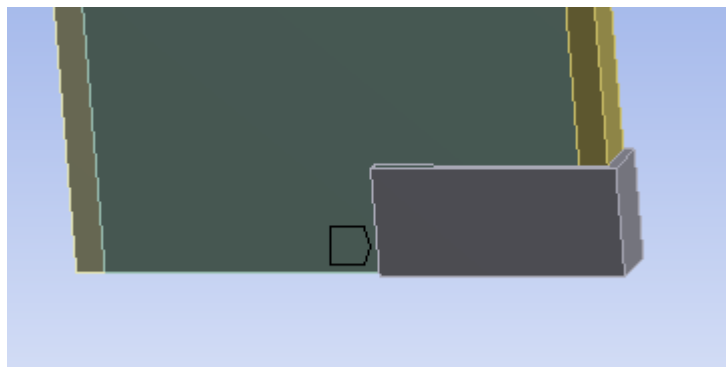


Рисунок 38 Общий вид опорной пластины

В результате получена достаточно регулярная сетка с элементами в основном прямоугольной формы (рис. 40).

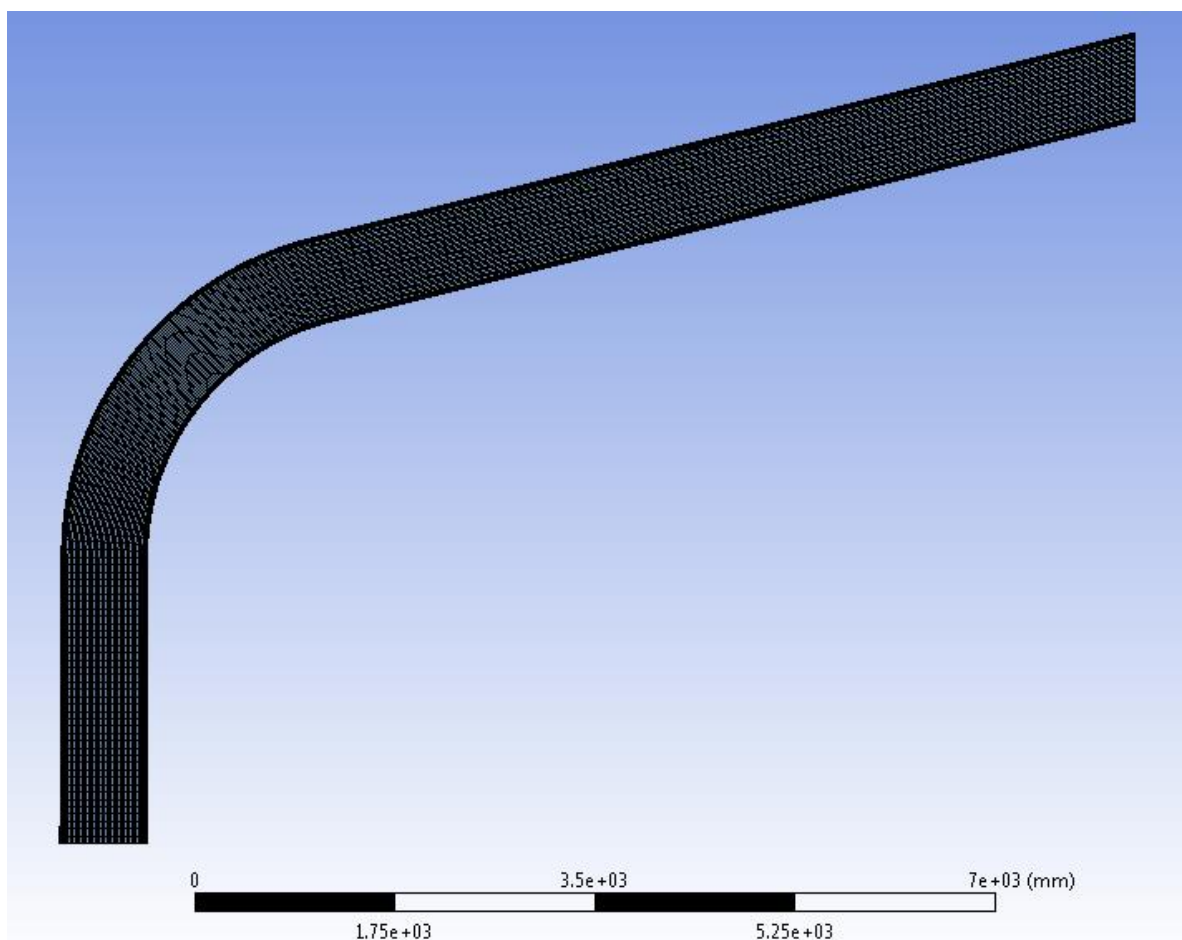


Рисунок 39 Общий вид конечноэлементной модели

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

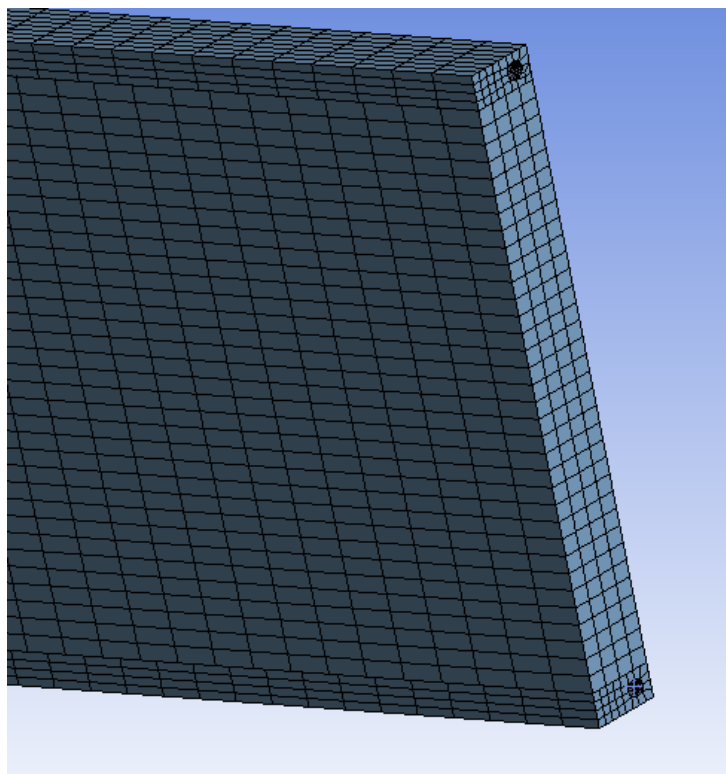


Рисунок 40 Элементы вблизи конькового узла

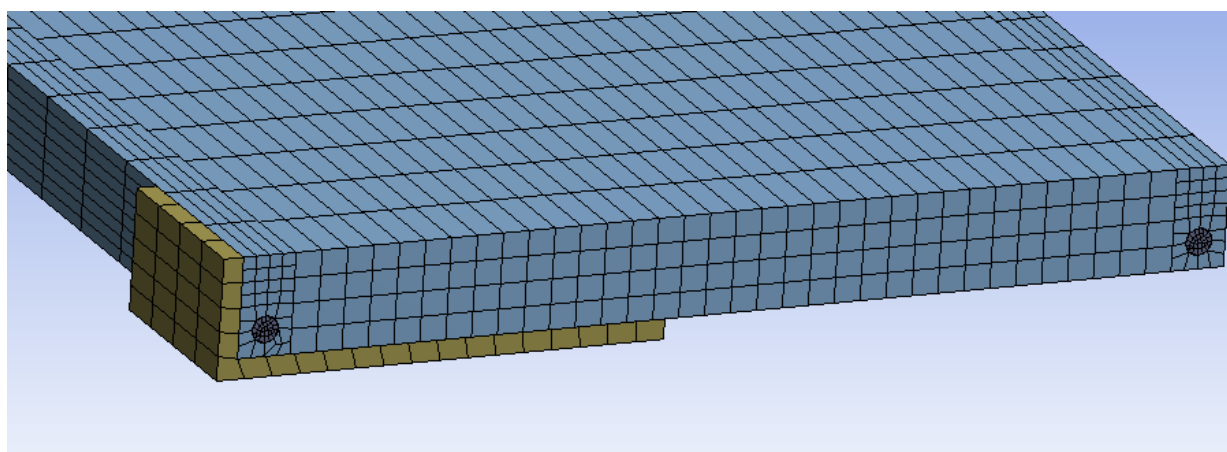


Рисунок 41 Опорный узел

### 3.5. Задание граничных условий и действующих нагрузок

Моделирование опорного узла произведем при помощи опорной пластины. Выполним закрепление опорной плоскости пластины по всем степеням свободы при помощи команды Fixed Support.

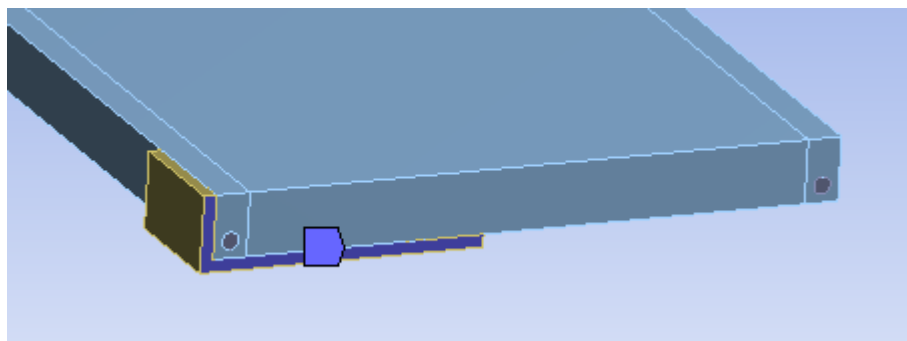


Рисунок 42 Зафиксированная плоскость

Для опорной плоскости рамы введем опору Remote Displacement с разрешением на поворот относительно оси X.

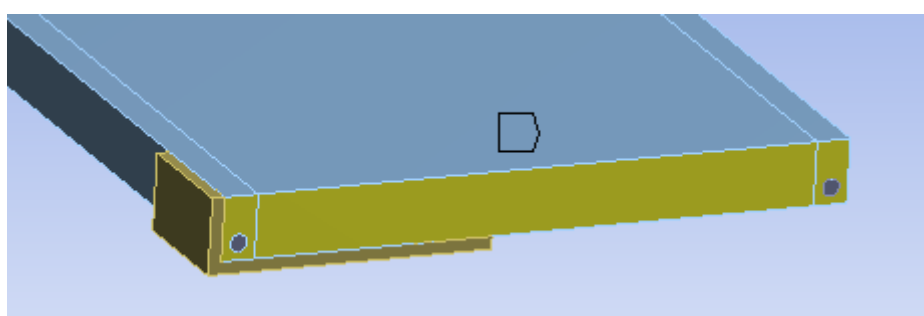


Рисунок 43 Опорная плоскость рамы

Необходимо задать вертикальную нагрузку. В данном программном комплексе необходимо посчитать общую нагрузку на элемент. С учетом симметрии сечения нагрузка на колонну:

$$F_1 = 2,68 \cdot 2,5/2 = 3,35 \text{ кН}$$

Также зададим нагрузку на ригель рамы.

$$F_2 = (2,68 + 9,45) \cdot 9/2 = 54,6 \text{ кН}$$

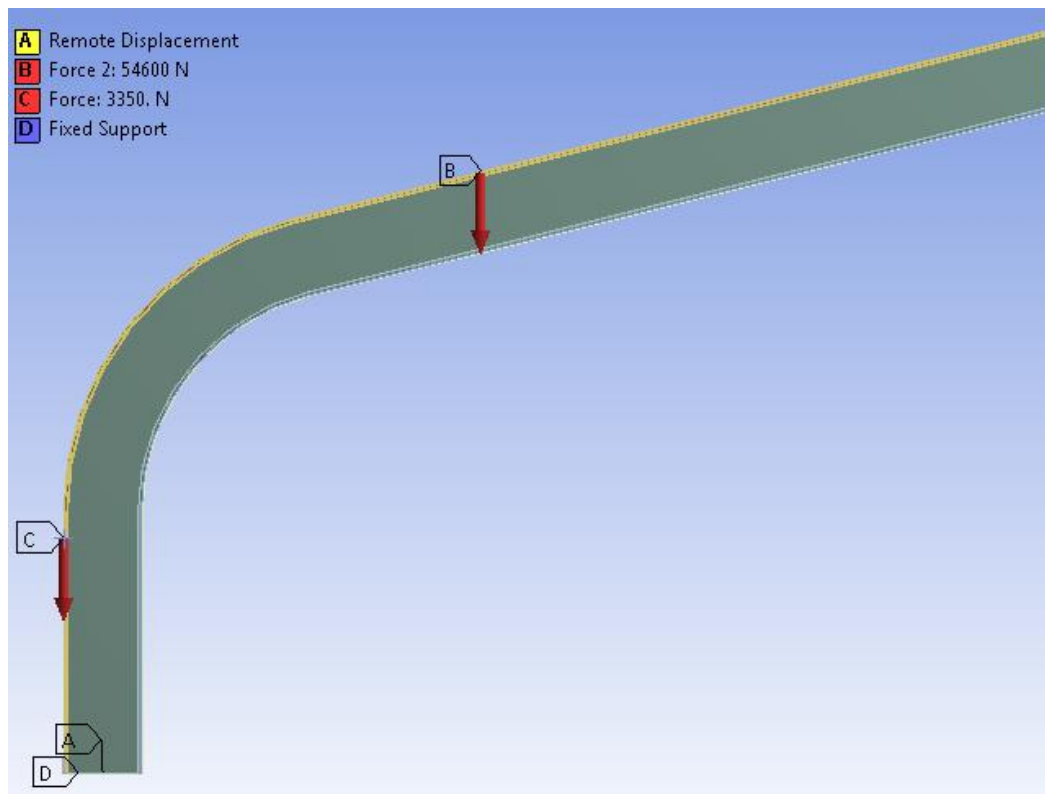


Рисунок 44 Общий вид нагрузок и граничных условий

### 3.6. Анализ результатов

В ходе расчета получены деформации вдоль вертикальной оси (рис. 46). Деформации приведены от расчетных нагрузок.

Максимальные прогибы конструкции пролетом 18м согласно [2] составляют:

$$18000/200=90\text{см}$$

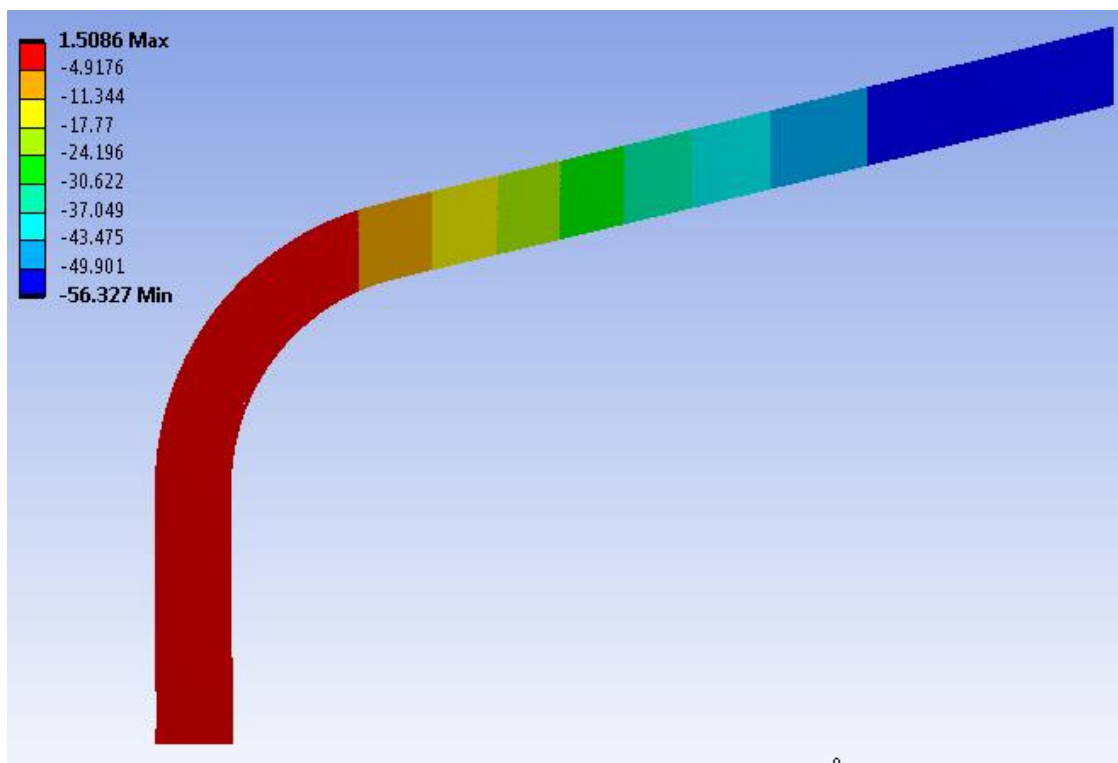


Рисунок 45 Деформации рамы вдоль оси Z

$$56,3/1,3=43,3\text{см}<90\text{см}$$

Деформации не превышают допустимых.

На рис. 47 показаны эквивалентные напряжения в конструкции.

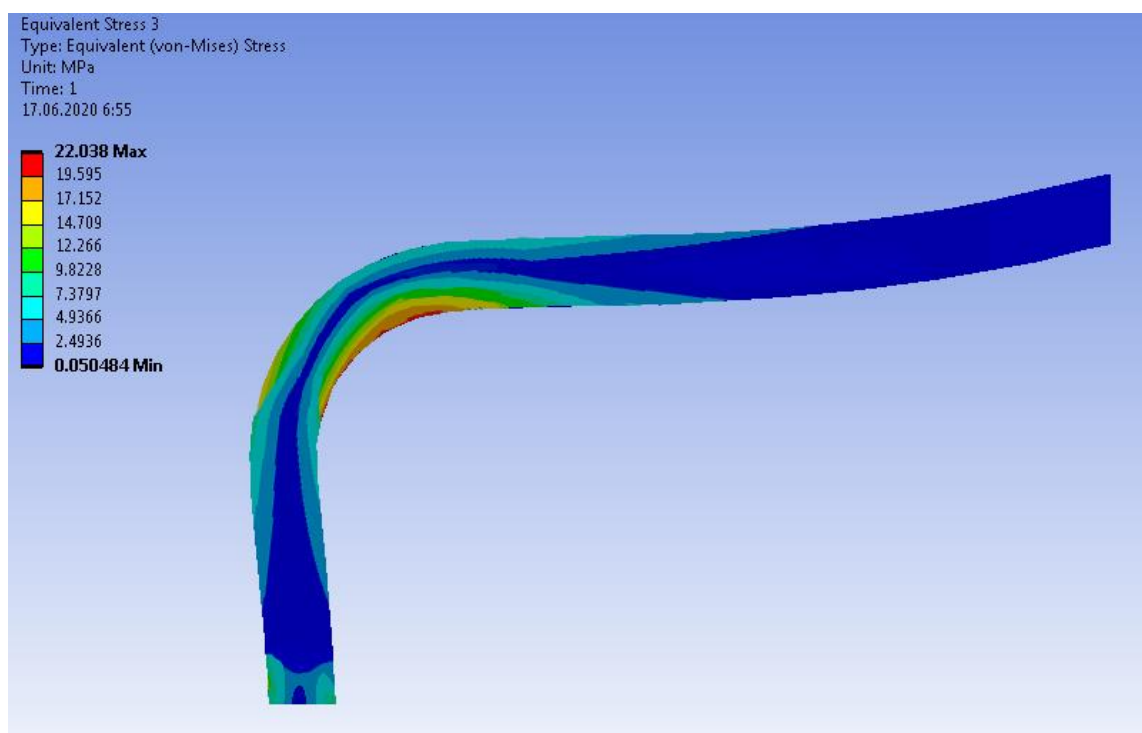


Рисунок 46 Эквивалентные напряжения

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57



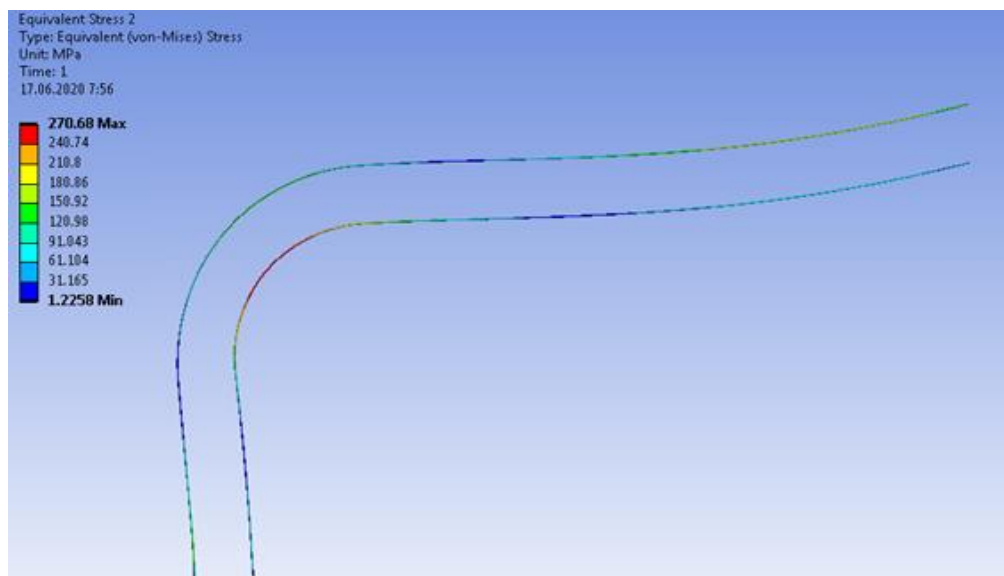


Рисунок 47 Эквивалентные напряжения в арматуре

Напряжения в арматуре не превышают предельные

$$271 \text{ МПа} < 281 \text{ МПа}$$

Поскольку древесина является ортотропным материалом, необходимы отдельные проверки по растягивающим и сжимающим напряжениям.

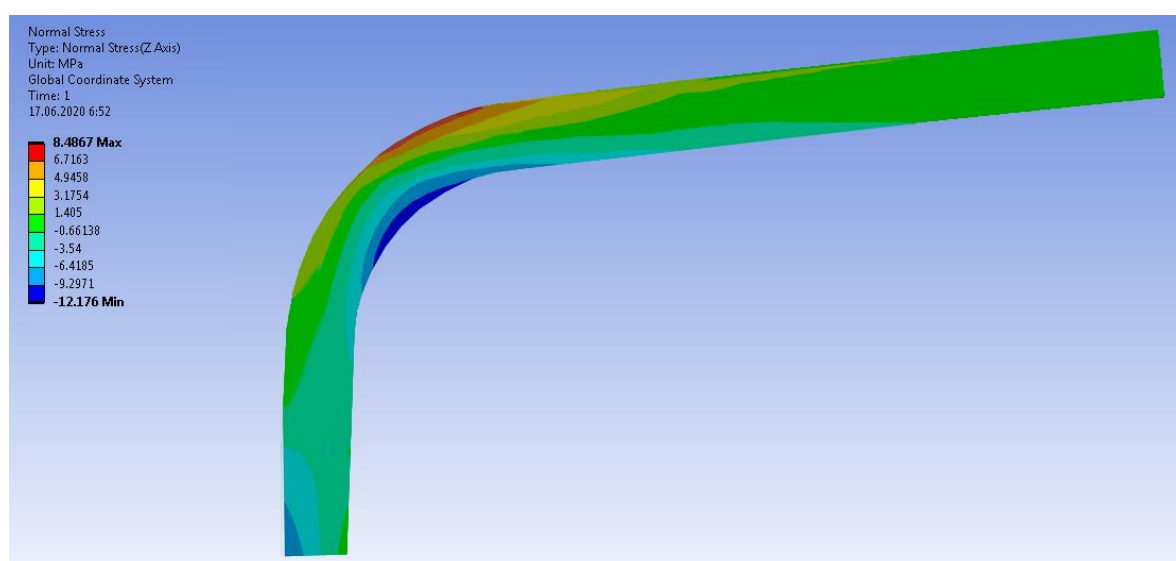


Рисунок 48 Нормальные напряжения в древесине вдоль оси Z

$$12,18 \text{ МПа} < 15,5 \text{ МПа}$$

Минимальные напряжения не превосходят предел прочности на сжатие. Максимальные растягивающие напряжения не превосходят предел прочности на растяжение.

$$8,49 \text{ МПа} < 10,7 \text{ МПа}$$

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной исследовательской работе, для реализации целей были решены следующие задачи:

1. Изучен опыт исследования напряженного состояния гнутоклееных армированных конструкций.
  2. Разработана расчетная модель в ПК "ЛИРА-САПР 2013".
  3. Произведен статический расчет гнутоклееной рамы для выявления опасных сечений, расчетных усилий. В результате расчета было выявлено, что наиболее нагруженная зона расположена в карнизе гнутоклееной рамы.
  4. Произведен теоретический подбор сечения гнутоклееной рамы с требуемым количеством арматурных стержней и их диаметром.
  5. Выполнено конечноэлементное моделирование гнутоклееной рамы в ПК ANSYS WORKBENCH, позволившее произвести проверку теоретических расчетов.
  6. Сопоставлены результаты теоретического расчета с исследованием в ПК ANSYS WORKBENCH.
- Решение указанных задач позволило осуществить оптимизированное использование строительных материалов.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щуко, В.Ю. Клееные армированные деревянные конструкции: учеб. пособие к курсовому и дипломному проектированию / В. Ю. Щуко, С. И. Рощина; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 68 с.
2. СП 20.13330.2016. СВОД ПРАВИЛ. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция. СНиП 2.01.07-85\*. М: Минрегион России, 2016. – 80 с.
3. СП 64.13330.2017. СВОД ПРАВИЛ. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М: Минстрой России, 2017. – 90 с.
4. СП 50.13330.2012. СВОД ПРАВИЛ. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция. СНиП 23-02-2003. М: Минрегион России, 2012. -100 с.
5. СП 131.13330.2012. СВОД ПРАВИЛ. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – М.: Минстрой России, 2012
6. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения
7. СП 16.13330.2016. СВОД ПРАВИЛ. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81. М: Минстрой России, 2016. – 173 с.
8. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - М.: Минрегион России, 2012. – 155 с.
9. Дымолазов, М.А. Деревянные конструкции. Клееные трехшарнирные рамы. Конструирование и расчет : учеб.-метод. пособие / М.А. Дымолазов. – Казань : Изд-во КГАСУ, 2016. – 89 с.
10. Деревянные конструкции. Примеры расчета элементов : Учебно- методическое пособие / Г.Н. Шмелёв, М.А. Дымолазов.– Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2018. – 96 с.
11. Волик А.Р., Цветинский, И.И. Работа армированных клееных балок с различными материалами армирования и их расположением // Вестник Полоцкого Государственного Университета. Прикладные науки, 2006. – 21-25 с.
12. Устарханов О.М., Калиева М.Х., Манапов Р.М. напряженно-деформированное состояние клефанерных балок, армированных стальной и стеклопластиковой

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

арматурой // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2013. – № 29. – С. 81-86.

13. Устарханов О.М., Калиева М.Х. Экспериментальные исследования клееных деревянных армированных балок // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015.

14. Савельев В.В., Левинский Ю.Б. Экспериментальное исследование состояния клееных армированных балок с предварительным гнутьем древесины // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды V международного евразийского симпозиума / Уральский государственный лесотехнический университет, Уральский лесной технопарк. – Екатеринбург, 2010. / с.102-106.

					АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Приложение 1. Таблица РСУ.

Усилия						
№ элемента	№ сечения	Критерий	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	№ загрузки
1	1	2	-139.94	0	83.5518	1 2 4
1	1	13	-129.321	0	83.55196	1 2 3
1	1	2	-44.2707	0	22.89822	1 2
1	1	2	-139.94	0	83.5518	1 2 4
1	1	13	-129.321	0	83.55196	1 2 3
1	1	2	-139.94	0	83.5518	1 2 4
1	1	13	-129.321	0	83.55196	1 2 3
1	2	1	-120.718	208.8799	83.55196	1 2 3
1	2	6	-131.338	208.8795	83.5518	1 2 4
1	2	1	-35.6679	57.24556	22.89822	1 2
1	2	1	-120.718	208.8799	83.55196	1 2 3
1	2	6	-131.338	208.8795	83.5518	1 2 4
1	2	1	-120.718	208.8799	83.55196	1 2 3
1	2	6	-131.338	208.8795	83.5518	1 2 4
2	1	2	-129.321	0	-83.552	1 2 3
2	1	2	-44.2707	0	-22.8982	1 2
2	1	2	-129.321	0	-83.552	1 2 3
2	1	2	-129.321	0	-83.552	1 2 3
2	2	2	-120.718	-208.88	-83.552	1 2 3
2	2	5	-110.098	-208.88	-83.5518	1 2 4
2	2	2	-35.6679	-57.2456	-22.8982	1 2
2	2	2	-120.718	-208.88	-83.552	1 2 3
2	2	5	-110.098	-208.88	-83.5518	1 2 4
2	2	2	-120.718	-208.88	-83.552	1 2 3
2	2	5	-110.098	-208.88	-83.5518	1 2 4
3	1	2	-108.878	-207.771	-67.7293	1 2 3
3	1	14	-110.99	-194.382	-74.4468	1 2 4
3	1	2	-29.8054	-56.5206	-18.4545	1 2
3	1	2	-108.878	-207.771	-67.7293	1 2 3
3	1	14	-110.99	-194.382	-74.4468	1 2 4
3	1	2	-108.878	-207.771	-67.7293	1 2 3
3	1	14	-110.99	-194.382	-74.4468	1 2 4
3	2	2	-109.779	-224.441	-70.5934	1 2 3
3	2	14	-112.053	-212.733	-77.8285	1 2 4
3	2	2	-30.0541	-61.064	-19.2458	1 2
3	2	2	-109.779	-224.441	-70.5934	1 2 3
3	2	14	-112.053	-212.733	-77.8285	1 2 4
3	2	2	-109.779	-224.441	-70.5934	1 2 3
3	2	14	-112.053	-212.733	-77.8285	1 2 4
4	1	2	-117.475	-224.441	-56.8716	1 2 3
4	1	14	-120.604	-212.733	-63.7805	1 2 4
4	1	2	-32.1515	-61.064	-15.4897	1 2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АС-259.080401.2020.079.ПЗ.КНР

Лист

62

4	1	2	-117.475	-224.441	-56.8716	1 2 3
4	1	14	-120.604	-212.733	-63.7805	1 2 4
4	1	2	-117.475	-224.441	-56.8716	1 2 3
4	1	14	-120.604	-212.733	-63.7805	1 2 4
4	2	2	-118.673	-238.467	-59.5172	1 2 3
4	2	14	-122.016	-228.481	-66.8981	1 2 4
4	2	2	-32.4936	-64.8885	-16.2453	1 2
4	2	2	-118.673	-238.467	-59.5172	1 2 3
4	2	14	-122.016	-228.481	-66.8981	1 2 4
4	2	2	-118.673	-238.467	-59.5172	1 2 3
4	2	14	-122.016	-228.481	-66.8981	1 2 4
5	1	2	-124.971	-238.467	-44.8106	1 2 3
5	1	14	-129.176	-228.481	-51.7359	1 2 4
5	1	2	-34.2118	-64.8885	-12.2189	1 2
5	1	2	-124.971	-238.467	-44.8106	1 2 3
5	1	14	-129.176	-228.481	-51.7359	1 2 4
5	1	2	-124.971	-238.467	-44.8106	1 2 3
5	1	14	-129.176	-228.481	-51.7359	1 2 4
5	2	2	-126.412	-249.554	-47.1835	1 2 3
5	2	14	-130.87	-241.287	-54.5243	1 2 4
5	2	2	-34.6423	-67.919	-12.9278	1 2
5	2	2	-126.412	-249.554	-47.1835	1 2 3
5	2	14	-130.87	-241.287	-54.5243	1 2 4
5	2	2	-126.412	-249.554	-47.1835	1 2 3
5	2	14	-130.87	-241.287	-54.5243	1 2 4
6	1	2	-131.171	-249.554	-31.6304	1 2 3
6	1	14	-136.48	-241.287	-38.3815	1 2 4
6	1	2	-35.9462	-67.919	-8.66557	1 2
6	1	2	-131.171	-249.554	-31.6304	1 2 3
6	1	14	-136.48	-241.287	-38.3815	1 2 4
6	1	2	-131.171	-249.554	-31.6304	1 2 3
6	1	14	-136.48	-241.287	-38.3815	1 2 4
6	2	2	-132.79	-257.426	-33.6897	1 2 3
6	2	14	-138.376	-250.829	-40.7922	1 2 4
6	2	2	-36.4589	-70.0862	-9.31753	1 2
6	2	2	-132.79	-257.426	-33.6897	1 2 3
6	2	14	-138.376	-250.829	-40.7922	1 2 4
6	2	2	-132.79	-257.426	-33.6897	1 2 3
6	2	14	-138.376	-250.829	-40.7922	1 2 4
7	1	2	-135.878	-257.426	-17.4746	1 2 3
7	1	14	-142.277	-250.829	-23.8538	1 2 4
7	1	2	-37.3149	-70.0862	-4.86502	1 2
7	1	2	-135.878	-257.426	-17.4746	1 2 3
7	1	14	-142.277	-250.829	-23.8538	1 2 4
7	1	2	-135.878	-257.426	-17.4746	1 2 3
7	1	14	-142.277	-250.829	-23.8538	1 2 4

7	2	2	-137.604	-261.845	-19.1954	1 2 3
7	2	14	-144.288	-256.82	-25.858	1 2 4
7	2	2	-37.9023	-71.3294	-5.45056	1 2
7	2	2	-137.604	-261.845	-19.1954	1 2 3
7	2	14	-144.288	-256.82	-25.858	1 2 4
7	2	2	-137.604	-261.845	-19.1954	1 2 3
7	2	14	-144.288	-256.82	-25.858	1 2 4
8	1	2	-138.914	-261.845	-2.50283	1 2 3
8	1	14	-146.351	-256.82	-8.3131	1 2 4
8	1	2	-38.2827	-71.3294	-0.85152	1 2
8	1	2	-138.914	-261.845	-2.50283	1 2 3
8	1	14	-146.351	-256.82	-8.3131	1 2 4
8	1	2	-138.914	-261.845	-2.50283	1 2 3
8	1	14	-146.351	-256.82	-8.3131	1 2 4
8	2	2	-140.673	-262.614	-3.87679	1 2 3
8	2	14	-148.385	-259.015	-9.90267	1 2 4
8	2	2	-38.9363	-71.5962	-1.36215	1 2
8	2	2	-140.673	-262.614	-3.87679	1 2 3
8	2	14	-148.385	-259.015	-9.90267	1 2 4
8	2	2	-140.673	-262.614	-3.87679	1 2 3
8	2	14	-148.385	-259.015	-9.90267	1 2 4
9	1	2	-140.118	-262.614	13.07059	1 2 3
9	1	18	-148.499	-259.015	8.016061	1 2 4
9	1	2	-38.8175	-71.5962	3.330753	1 2
9	1	2	-140.118	-262.614	13.07059	1 2 3
9	1	18	-148.499	-259.015	8.016061	1 2 4
9	1	2	-140.118	-262.614	13.07059	1 2 3
9	1	18	-148.499	-259.015	8.016061	1 2 4
9	2	2	-141.835	-259.588	12.03484	1 2 3
9	2	18	-150.468	-257.226	6.828616	1 2 4
9	2	2	-39.5277	-70.845	2.902433	1 2
9	2	2	-141.835	-259.588	12.03484	1 2 3
9	2	18	-150.468	-257.226	6.828616	1 2 4
9	2	2	-141.835	-259.588	12.03484	1 2 3
9	2	18	-150.468	-257.226	6.828616	1 2 4
10	1	2	-139.357	-259.588	29.01469	1 2 3
10	1	18	-148.553	-257.226	24.8851	1 2 4
10	1	2	-38.8912	-70.845	7.637785	1 2
10	1	2	-139.357	-259.588	29.01469	1 2 3
10	1	18	-148.553	-257.226	24.8851	1 2 4
10	1	2	-139.357	-259.588	29.01469	1 2 3
10	1	18	-148.553	-257.226	24.8851	1 2 4
10	2	2	-140.964	-252.682	28.29277	1 2 3
10	2	18	-150.373	-251.326	24.06774	1 2 4
10	2	2	-39.6479	-69.045	7.29804	1 2
10	2	2	-140.964	-252.682	28.29277	1 2 3

10	2	18	-150.373	-251.326	24.06774	1 2 4
10	2	2	-140.964	-252.682	28.29277	1 2 3
10	2	18	-150.373	-251.326	24.06774	1 2 4
11	1	2	-136.538	-252.682	45.0406	1 2 3
11	1	18	-146.387	-251.326	41.97783	1 2 4
11	1	2	-38.4824	-69.045	12.01335	1 2
11	1	2	-136.538	-252.682	45.0406	1 2 3
11	1	18	-146.387	-251.326	41.97783	1 2 4
11	1	2	-136.538	-252.682	45.0406	1 2 3
11	1	18	-146.387	-251.326	41.97783	1 2 4
11	2	2	-147.987	-241.268	41.48057	1 2 4
11	2	5	-137.976	-241.88	44.59349	1 2 3
11	2	2	-39.2744	-66.1791	11.76707	1 2
11	2	2	-147.987	-241.268	41.48057	1 2 4
11	2	5	-137.976	-241.88	44.59349	1 2 3
11	2	2	-147.987	-241.268	41.48057	1 2 4
11	2	5	-137.976	-241.88	44.59349	1 2 3
12	1	2	-141.922	-241.268	58.98236	1 2 4
12	1	5	-131.61	-241.88	60.86842	1 2 3
12	1	2	-37.5736	-66.1791	16.4064	1 2
12	1	2	-141.922	-241.268	58.98236	1 2 4
12	1	5	-131.61	-241.88	60.86842	1 2 3
12	1	2	-141.922	-241.268	58.98236	1 2 4
12	1	5	-131.61	-241.88	60.86842	1 2 3
12	2	2	-143.241	-227.081	58.74103	1 2 4
12	2	5	-132.829	-227.236	60.6455	1 2 3
12	2	2	-38.3894	-62.2428	16.25719	1 2
12	2	2	-143.241	-227.081	58.74103	1 2 4
12	2	5	-132.829	-227.236	60.6455	1 2 3
12	2	2	-143.241	-227.081	58.74103	1 2 4
12	2	5	-132.829	-227.236	60.6455	1 2 3
13	1	2	-135.133	-227.081	75.54831	1 2 4
13	1	5	-124.567	-227.236	76.18615	1 2 3
13	1	2	-36.1546	-62.2428	20.7579	1 2
13	1	2	-135.133	-227.081	75.54831	1 2 4
13	1	5	-124.567	-227.236	76.18615	1 2 3
13	1	2	-135.133	-227.081	75.54831	1 2 4
13	1	5	-124.567	-227.236	76.18615	1 2 3
13	2	2	-136.132	-208.88	75.48801	1 2 4
13	2	5	-125.532	-208.88	76.12792	1 2 3
13	2	2	-36.9825	-57.2456	20.70793	1 2
13	2	2	-136.132	-208.88	75.48801	1 2 4
13	2	5	-125.532	-208.88	76.12792	1 2 3
13	2	2	-136.132	-208.88	75.48801	1 2 4
13	2	5	-125.532	-208.88	76.12792	1 2 3
14	1	2	-104.633	-207.771	74.11857	1 2 3



14	1	13	-106.34	-194.382	80.95029	1 2 4
14	1	2	-28.6485	-56.5206	20.20374	1 2
14	1	2	-104.633	-207.771	74.11857	1 2 3
14	1	13	-106.34	-194.382	80.95029	1 2 4
14	1	2	-104.633	-207.771	74.11857	1 2 3
14	1	13	-106.34	-194.382	80.95029	1 2 4
14	2	2	-81.0612	0	-20.2485	1 2 3
14	2	14	-78.4874	0	-30.5518	1 2 4
14	2	2	-22.2156	0	-5.5493	1 2
14	2	2	-81.0612	0	-20.2485	1 2 3
14	2	14	-78.4874	0	-30.5518	1 2 4
14	2	2	-81.0612	0	-20.2485	1 2 3
14	2	14	-78.4874	0	-30.5518	1 2 4
15	1	2	-106.766	-221.16	-61.0116	1 2 4
15	1	14	-108.878	-207.771	-67.7293	1 2 3
15	1	2	-29.8054	-56.5206	-18.4545	1 2
15	1	2	-106.766	-221.16	-61.0116	1 2 4
15	1	14	-108.878	-207.771	-67.7293	1 2 3
15	1	2	-106.766	-221.16	-61.0116	1 2 4
15	1	14	-108.878	-207.771	-67.7293	1 2 3
15	2	2	-107.504	-236.148	-63.358	1 2 4
15	2	14	-109.779	-224.441	-70.5934	1 2 3
15	2	2	-30.0541	-61.064	-19.2458	1 2
15	2	2	-107.504	-236.148	-63.358	1 2 4
15	2	14	-109.779	-224.441	-70.5934	1 2 3
15	2	2	-107.504	-236.148	-63.358	1 2 4
15	2	14	-109.779	-224.441	-70.5934	1 2 3
16	1	2	-114.346	-236.148	-49.9625	1 2 4
16	1	14	-117.475	-224.441	-56.8716	1 2 3
16	1	2	-32.1515	-61.064	-15.4897	1 2
16	1	2	-114.346	-236.148	-49.9625	1 2 4
16	1	14	-117.475	-224.441	-56.8716	1 2 3
16	1	2	-114.346	-236.148	-49.9625	1 2 4
16	1	14	-117.475	-224.441	-56.8716	1 2 3
16	2	2	-115.33	-248.452	-52.1361	1 2 4
16	2	14	-118.673	-238.467	-59.5172	1 2 3
16	2	2	-32.4936	-64.8885	-16.2453	1 2
16	2	2	-115.33	-248.452	-52.1361	1 2 4
16	2	14	-118.673	-238.467	-59.5172	1 2 3
16	2	2	-115.33	-248.452	-52.1361	1 2 4
16	2	14	-118.673	-238.467	-59.5172	1 2 3
17	1	2	-120.764	-248.452	-37.8852	1 2 4
17	1	14	-124.971	-238.467	-44.8106	1 2 3
17	1	2	-34.2118	-64.8885	-12.2189	1 2
17	1	2	-120.764	-248.452	-37.8852	1 2 4
17	1	14	-124.971	-238.467	-44.8106	1 2 3

17	1	2	-120.764	-248.452	-37.8852	1 2 4
17	1	14	-124.971	-238.467	-44.8106	1 2 3
17	2	2	-121.953	-257.819	-39.8425	1 2 4
17	2	14	-126.412	-249.554	-47.1835	1 2 3
17	2	2	-34.6423	-67.919	-12.9278	1 2
17	2	2	-121.953	-257.819	-39.8425	1 2 4
17	2	14	-126.412	-249.554	-47.1835	1 2 3
17	2	2	-121.953	-257.819	-39.8425	1 2 4
17	2	14	-126.412	-249.554	-47.1835	1 2 3
18	1	2	-125.861	-257.819	-24.8793	1 2 4
18	1	14	-131.171	-249.554	-31.6304	1 2 3
18	1	2	-35.9462	-67.919	-8.66557	1 2
18	1	2	-125.861	-257.819	-24.8793	1 2 4
18	1	14	-131.171	-249.554	-31.6304	1 2 3
18	1	2	-125.861	-257.819	-24.8793	1 2 4
18	1	14	-131.171	-249.554	-31.6304	1 2 3
18	2	2	-127.204	-264.022	-26.5871	1 2 4
18	2	14	-132.79	-257.426	-33.6897	1 2 3
18	2	2	-36.4589	-70.0862	-9.31753	1 2
18	2	2	-127.204	-264.022	-26.5871	1 2 4
18	2	14	-132.79	-257.426	-33.6897	1 2 3
18	2	2	-127.204	-264.022	-26.5871	1 2 4
18	2	14	-132.79	-257.426	-33.6897	1 2 3
19	1	2	-129.478	-264.022	-11.0954	1 2 4
19	1	14	-135.878	-257.426	-17.4746	1 2 3
19	1	2	-37.3149	-70.0862	-4.86502	1 2
19	1	2	-129.478	-264.022	-11.0954	1 2 4
19	1	14	-135.878	-257.426	-17.4746	1 2 3
19	1	2	-129.478	-264.022	-11.0954	1 2 4
19	1	14	-135.878	-257.426	-17.4746	1 2 3
19	2	2	-130.92	-266.869	-12.5326	1 2 4
19	2	14	-137.604	-261.845	-19.1954	1 2 3
19	2	2	-37.9023	-71.3294	-5.45056	1 2
19	2	2	-130.92	-266.869	-12.5326	1 2 4
19	2	14	-137.604	-261.845	-19.1954	1 2 3
19	2	2	-130.92	-266.869	-12.5326	1 2 4
19	2	14	-137.604	-261.845	-19.1954	1 2 3
20	1	2	-131.477	-266.869	3.307462	1 2 4
20	1	14	-138.914	-261.845	-2.50283	1 2 3
20	1	2	-38.2827	-71.3294	-0.85152	1 2
20	1	2	-131.477	-266.869	3.307462	1 2 4
20	1	14	-138.914	-261.845	-2.50283	1 2 3
20	1	2	-131.477	-266.869	3.307462	1 2 4
20	1	14	-138.914	-261.845	-2.50283	1 2 3
20	2	2	-132.96	-266.212	2.1491	1 2 4
20	2	14	-140.673	-262.614	-3.87679	1 2 3

20	2	2	-38.9363	-71.5962	-1.36215	1 2
20	2	2	-132.96	-266.212	2.1491	1 2 4
20	2	14	-140.673	-262.614	-3.87679	1 2 3
20	2	2	-132.96	-266.212	2.1491	1 2 4
20	2	14	-140.673	-262.614	-3.87679	1 2 3
21	1	2	-131.736	-266.212	18.12506	1 2 4
21	1	18	-140.118	-262.614	13.07059	1 2 3
21	1	2	-38.8175	-71.5962	3.330753	1 2
21	1	2	-131.736	-266.212	18.12506	1 2 4
21	1	18	-140.118	-262.614	13.07059	1 2 3
21	1	2	-131.736	-266.212	18.12506	1 2 4
21	1	18	-140.118	-262.614	13.07059	1 2 3
21	2	2	-133.202	-261.95	17.24101	1 2 4
21	2	18	-141.835	-259.588	12.03484	1 2 3
21	2	2	-39.5277	-70.845	2.902433	1 2
21	2	2	-133.202	-261.95	17.24101	1 2 4
21	2	18	-141.835	-259.588	12.03484	1 2 3
21	2	2	-133.202	-261.95	17.24101	1 2 4
21	2	18	-141.835	-259.588	12.03484	1 2 3
22	1	2	-130.159	-261.95	33.14417	1 2 4
22	1	18	-139.357	-259.588	29.01469	1 2 3
22	1	2	-38.8912	-70.845	7.637785	1 2
22	1	2	-130.159	-261.95	33.14417	1 2 4
22	1	18	-139.357	-259.588	29.01469	1 2 3
22	1	2	-130.159	-261.95	33.14417	1 2 4
22	1	18	-139.357	-259.588	29.01469	1 2 3
22	2	2	-131.555	-254.036	32.51769	1 2 4
22	2	18	-140.964	-252.682	28.29277	1 2 3
22	2	2	-39.6479	-69.045	7.29804	1 2
22	2	2	-131.555	-254.036	32.51769	1 2 4
22	2	18	-140.964	-252.682	28.29277	1 2 3
22	2	2	-131.555	-254.036	32.51769	1 2 4
22	2	18	-140.964	-252.682	28.29277	1 2 3
23	1	2	-126.689	-254.036	48.10319	1 2 4
23	1	18	-136.538	-252.682	45.0406	1 2 3
23	1	2	-38.4824	-69.045	12.01335	1 2
23	1	2	-126.689	-254.036	48.10319	1 2 4
23	1	18	-136.538	-252.682	45.0406	1 2 3
23	1	2	-126.689	-254.036	48.10319	1 2 4
23	1	18	-136.538	-252.682	45.0406	1 2 3
23	2	2	-137.976	-241.88	44.59349	1 2 3
23	2	5	-127.966	-242.49	47.70623	1 2 4
23	2	2	-39.2744	-66.1791	11.76707	1 2
23	2	2	-137.976	-241.88	44.59349	1 2 3
23	2	5	-127.966	-242.49	47.70623	1 2 4
23	2	2	-137.976	-241.88	44.59349	1 2 3

23	2	5	-127.966	-242.49	47.70623	1 2 4
24	1	2	-131.61	-241.88	60.86842	1 2 3
24	1	5	-121.297	-242.49	62.75426	1 2 4
24	1	2	-37.5736	-66.1791	16.4064	1 2
24	1	2	-131.61	-241.88	60.86842	1 2 3
24	1	5	-121.297	-242.49	62.75426	1 2 4
24	1	2	-131.61	-241.88	60.86842	1 2 3
24	1	5	-121.297	-242.49	62.75426	1 2 4
24	2	2	-132.829	-227.236	60.6455	1 2 3
24	2	5	-122.415	-227.389	62.54974	1 2 4
24	2	2	-38.3894	-62.2428	16.25719	1 2
24	2	2	-132.829	-227.236	60.6455	1 2 3
24	2	5	-122.415	-227.389	62.54974	1 2 4
24	2	2	-132.829	-227.236	60.6455	1 2 3
24	2	5	-122.415	-227.389	62.54974	1 2 4
25	1	2	-124.567	-227.236	76.18615	1 2 3
25	1	5	-114	-227.389	76.82371	1 2 4
25	1	2	-36.1546	-62.2428	20.7579	1 2
25	1	2	-124.567	-227.236	76.18615	1 2 3
25	1	5	-114	-227.389	76.82371	1 2 4
25	1	2	-124.567	-227.236	76.18615	1 2 3
25	1	5	-114	-227.389	76.82371	1 2 4
25	2	2	-125.532	-208.88	76.12792	1 2 3
25	2	5	-114.931	-208.88	76.76754	1 2 4
25	2	2	-36.9825	-57.2456	20.70793	1 2
25	2	2	-125.532	-208.88	76.12792	1 2 3
25	2	5	-114.931	-208.88	76.76754	1 2 4
25	2	2	-125.532	-208.88	76.12792	1 2 3
25	2	5	-114.931	-208.88	76.76754	1 2 4
26	1	2	-102.927	-221.16	67.28655	1 2 4
26	1	13	-104.633	-207.771	74.11857	1 2 3
26	1	2	-28.6485	-56.5206	20.20374	1 2
26	1	2	-102.927	-221.16	67.28655	1 2 4
26	1	13	-104.633	-207.771	74.11857	1 2 3
26	1	2	-102.927	-221.16	67.28655	1 2 4
26	1	13	-104.633	-207.771	74.11857	1 2 3
26	2	2	-83.6348	0	-9.94518	1 2 4
26	2	14	-81.0612	0	-20.2485	1 2 3
26	2	2	-22.2156	0	-5.5493	1 2
26	2	2	-83.6348	0	-9.94518	1 2 4
26	2	14	-81.0612	0	-20.2485	1 2 3
26	2	2	-83.6348	0	-9.94518	1 2 4
26	2	14	-81.0612	0	-20.2485	1 2 3