

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Строительные конструкции и управляемые системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
С. В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия
« ___ » _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Совершенствование узловых соединений в опорном стыке
комбинированного блок-свода

Тема

08.04.01 Строительство
код и наименование направления

08.04.03.01 Теория и проектирование зданий и сооружений
код и направление магистерской программы

| | | | |
|----------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| Научный руководитель | _____ | доцент кафедры канд.техн.наук | <u>М. А. Плясунова</u> |
| | подпись, дата | должность, ученая степень | инициалы, фамилия |
| Выпускник | _____ | <u>412048074</u> | <u>К. Е. Сивцова</u> |
| | подпись, дата | | инициалы, фамилия |
| Рецензент | _____ | _____ | <u>А. Н. Винник</u> |
| | подпись, дата | должность, ученая степень | инициалы, фамилия |

Красноярск 2022

Содержание

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОК-СВОДОВ ПОКРЫТИЯ | 8 |
| 1.1 Предназначение и возможности блок-сводов покрытия | 8 |
| 1.2 Конструкции из комбинированных материалов с применением древесины | 9 |
| 1.3 Обзор существующих пространственных блоков покрытия..... | 12 |
| 1.4 Опорные узловые соединения деревянных конструкций..... | 18 |
| 1.5 Преднапряжение в металлических и деревянных конструкциях..... | 23 |
| 1.6 Выводы по первой главе..... | 26 |
| ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОРНОГО УЗЛА КОМБИНИРОВАННОГО БЛОК-СВОДА | 27 |
| 2.1 Описание предлагаемой конструкции | 27 |
| 2.2 Выводы по второй главе..... | 30 |
| ГЛАВА 3 ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО БЛОК-СВОДА..... | 31 |
| 3.1 Обзор существующих программных комплексов, используемых для расчетов строительных конструкций | 31 |
| 3.2 Задание расчетной схемы и сбор нагрузок в ПК «ANSYS» | 33 |
| 3.3 Численное исследование основных конструктивных элементов в ПК «Ansys» | 45 |
| ГЛАВА 4 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БЛОКА ПОКРЫТИЯ..... | 48 |
| 4.1 Цели и содержание испытания..... | 48 |
| 4.2 Методика эксперимента | 51 |
| 4.3 Нагружение модели блок-свода покрытия..... | 56 |
| 4.4 Результаты испытаний..... | 66 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 4.4 Анализ полученных данных..... | 68 |
| 4.5 Выводы по 4 главе..... | 69 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 70 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 71 |

ВВЕДЕНИЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ

Древесина среди традиционных строительных материалов (сталь, бетон, древесина, камень, кирпич) занимает особое положение как возобновляемый и экологически чистый материал с высокими удельными физико-механическими характеристиками.

В настоящее время в России продолжают реализовываться программы, направленные на более эффективное использование древесины для промышленного и гражданского строительства.

Основной задачей для удовлетворения цели эффективного использования материала является достижение рациональных технико-экономических показателей при высокой надежности и прочности узловых соединений.

Наиболее нагруженными, а потому и наиболее ответственными являются опорные узлы блок-сводов, в которых соединяются свод с балками-затяжками и профилированным листом. Поэтому необходимо провести исследования по совершенствованию узловых соединений с применением стальных элементов, таких как пластины, стержни, нагели, дюбели, винты и т.д.

Цель работы: Совершенствование опорных узловых соединений в комбинированном блок-своде с применением бортового элемента в виде уголка с применением различных метизов и стальных элементов таких, как пластины.

Цель достигается тем, что в торцевой части своды между собой крепятся с помощью дополнительного бортового элемента в виде уголка с металлическими накладками.

Для достижения цели определены задачи:

1. Обзор существующих решений узловых соединений в комбинированном блок-своде;

2. Численные исследования НДС опорных узловых соединений, комбинированного блок-свода;
3. Выполнить натурные испытания моделей;
4. Анализ результатов, численных и натуральных испытания.

Научная новизна:

- Создании формулы для подбора конструкций опорных узлов в пространственных конструкциях из дерева и металла;
- Разработка нового опорного узла, комбинированного блок-свода с использованием уголка;
- Численные и натурные испытания опорного узла, комбинированного блок-свода с использованием металлического уголка.

Теоретическая база исследования:

Теоретическими основами работы стали исследования российских авторов и патентообладателей, посвященные таким вопросам как разработка конструкций блок-сводов и опорных узловых соединений.

Объект исследования: Опорное узловое соединение блок-свода с балками-затяжками и профилированным листом с применением различных стальных элементов, таких как пластины, стержни, нагели, дюбели, винты и т.д.

Предмет исследования: напряжённо деформированное состояние (НДС) узловых соединений в опорном стыке комбинированного блок-свода с оценкой прочности, жесткости и сдвигоустойчивости.

Методика исследования:

Экспериментально-теоретическая: в работе реализован комплексный подход к проблеме, включающий конструктивные проработки, математическое моделирование, исследования, анализ и сопоставление результатов.

Практическое значение работы:

- Разработка узлового соединения с бортовым элементом в виде уголка с металлическими накладками;
- Техничко-экономическая оценка узловых соединений в разработанных конструкциях 6 и 12м;
- Разработка и практическая обработка технологии изготовления на уменьшенной модели блок-свода покрытия пролетом 6 м.

Достоверность обусловлена соответствием результатов численных решений и экспериментальных данных.

На защиту выносятся:

1. Конструктивные решения узлового соединения опорного узла комбинированного блок-свода с бортовым элементом в виде уголка с накладками;
2. Результаты численных испытаний в ПК ANSYS;
3. Результаты натурных испытаний модели пролетом 6м.

Структура работы. Работа состоит из текстовой и иллюстративной частей. Содержание диссертации изложено во введении, четырех главах, заключении и списке использованных источников.

ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ:

Первый этап исследования – теоретический. Проведен обзор современного состояния проектирования конструкций блок-сводов покрытия и обзор узловых соединений в опорном стыке, определена тема исследования, цель, задачи, объекты исследования.

Второй этап исследования – аналитический. Изучен алгоритм конструкции блок-сводов покрытия с бортовыми элементами в виде швеллеров, создана и замоделирована в программном комплексе ANSYS трехмерная модель блок-свода.

Третий этап исследования – исследовательский. Проведены численные исследования по трехмерным моделям блок-сводов.

Четвертый этап – экспериментальный. Создана модель и проведены испытания блок-свода покрытия пролетом 6 м.

Пятый этап работы – обобщающий. Результаты исследования обобщены, сделаны выводы, написано заключение, оформлен текст магистерской диссертации.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОК-СВОДОВ ПОКРЫТИЯ

1.1 Предназначение и возможности блок-сводов покрытия

В современных материально-экономических условиях наибольшее применение имеют конструкции зданий и сооружений, работающие по балочной схеме. Анализ последних достижений в строительной области показал, что конструкции из одного материала нецелесообразны, так как различные материалы при разных нагрузках ведут себя по-разному. Для совершенствования конструкций и экономии трудозатрат и материалоемкости требуется усовершенствовать конструкции покрытия, путем комбинирования различных материалов (дерево, бетон, металл, конструкционные пластмассы).

Деревянные сборные элементы и конструкции занимают особое место, поскольку в стране имеется богатая сырьевая база, и древесина является практически единственным самовозобновляемым материалом. Это обуславливает значимость исследовательских работ, связанных с разработкой новых конструкций, в частности, пространственных систем из древесины с их внедрением в практику строительства.

Разработкой пространственных блоков покрытия в России занимались такие ученые как И.И. Крылов, А.Н. Кренин, Л.В. Енджиевский, А.В. Терешкова, М.А. Колесникова, С.В. Деордиев, С.В. Григорьев и др.

Блок-свод – это пространственная конструкция покрытия в виде свода с деревянными балками-затяжками, объединёнными в блок бортовыми элементами, стойками и покрытием из профилированного листа. Сечение балок-затяжек и стоек определяется в зависимости от пролета здания и нагрузки действующей на блок-свод [1].

Применение блок-сводов актуально в архитектуре уникальных зданий, так как прежде всего связано с пространственной организацией.

Блок-своды покрытия могут использоваться как в отапливаемых зданиях, так и в неотапливаемых.

1.2 Конструкции из комбинированных материалов с применением древесины

Благодаря высоким теплотехническим и экологическим характеристикам древесина применяется для строительства как жилых и общественных зданий, так и для возведения производственных строений. Здания из деревянных конструкций могут быть выполнены в виде деревянных каркасов, панельных, объемно-модульных и комбинированных домов.

Ригели и стойки являются основными элементами поперечной конструкции двух- и трех-шарнирных рам каркасных зданий.

Конструкциями, широко используемыми в деревянном домостроении являются балочные элементы, рамы, арки, фермы и др. Рассмотрим стропильные стержневые системы в покрытиях зданий. Такие конструкции состоят из отдельных стержней, соединенных между собой в узлах и работающих преимущественно на продольные усилия. Величина усилия в элементах фермы зависит от расстояния между поясами и расположения элементов решетки, которые соединяют эти пояса [2].

Рационально запроектированная ферма позволяет существенно сэкономить используемый материал (древесину или деревокомпозитные материалы). Кроме этого, в отличие от сплошной стенки плоскостных конструкций балок и рам, элементы решетки являются отдельными стержнями, что также приводит к экономии. Однако сквозные системы требуют устройства узловых соединений, что приводит к ухудшению эксплуатационных и эстетических качеств, дополнительным трудовым и материальным затратам.

Применение ферм является более рациональным решением при проектировании и строительстве объектов с пролетами более 24 м по сравнению с балочными конструкциями. При этом применение крупнопанельных ферм с

клееным верхним поясом позволит повысить эффективность и долговечность конструкции, за счет отсутствия необходимости устройства множества узловых соединений и прочностных преимуществ клееных элементов.

Фермы различаются по очертанию поясов могут быть: треугольные, с параллельными поясами, многоугольные, трапециевидные, сегментные, с криволинейными поясами [3].

Решетки могут образовывать простые или сложные системы, например, для стропильных ферм характерна простая решетка.

В зависимости от расположения и направления раскосов различают следующие виды решеток:

- раскосная, при чередовании стоек и раскосов (рисунок 1 а);
- треугольная, при чередовании раскосов разных направлений (рисунок 1 б);
- треугольная со стойками, при нахождении стоек между сходящимися раскосами (рисунок 1 в).

Другие типы решеток в деревянных фермах, как правило, не применяются.

Различают нисходящие (работающие на растяжения) и восходящие (работающие на сжатие) раскосы. Предпочтение стоит отдавать типу решетки с наибольшим количеством стержней, работающих на сжатие, так как крепление таких стержней к узлам фермы наиболее удобно и надежно.

Фермы могут быть цельнодеревянными (выполненные из досок, брусьев, клееной древесины, круглого леса), металлодеревянными.

По типу узловых соединений различают фермы на кольцевых и зубчатых шпонках, на гвоздях, на цилиндрических стальных нагелях и болтах, на металлических зубчатых пластинах, на клеестальных шайбах, на лобовых врубках и на других видах механических связей [4].

По величине перекрываемых пролетов фермы можно классифицировать: малого (9-15 м), среднего (18-24 м) и большого (более 24 м) пролета. По

способам изготовления различают фермы индустриального и построечного изготовления.

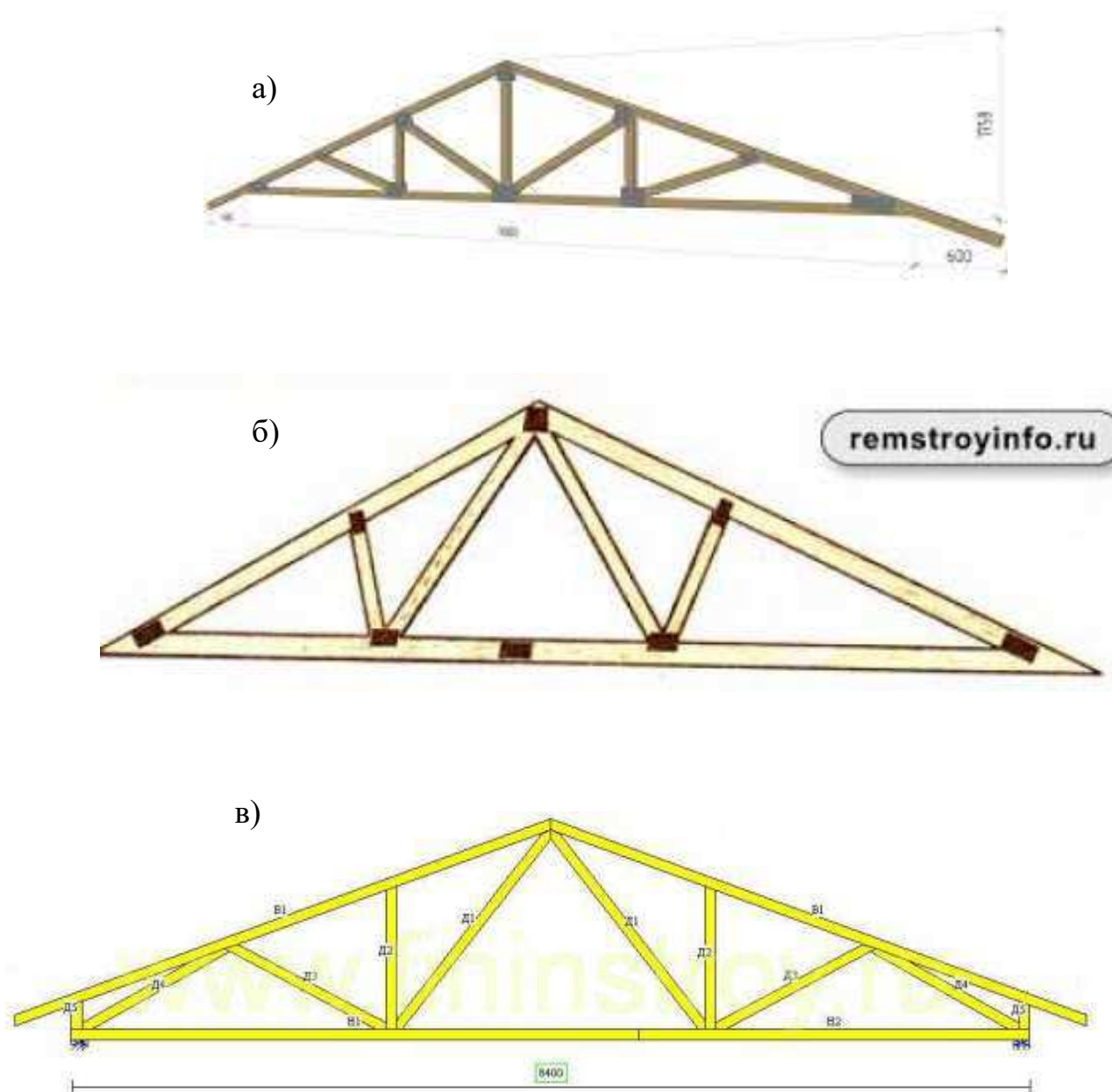


Рисунок 1 – Разновидности решеток

В следствии геометрической формы треугольной фермы их в основном применяют для кровель, так как не требуется предусматривать уклон из

тепло- и гидроизоляционных материалов. Верхний пояс таких ферм может выполняться из: брусьев, клееных блоков, пластинчатых нагелях. Нижний пояс как правило изготавливают из круглой или профильной стали. Реже нижний пояс выполняют из бруса или клееной древесины. Повышение степени индустриализации при изготовлении треугольных ферм можно обеспечить за счет решетки с минимальным числом элементов.

Одним из наиболее важных вопросов, связанных с проектированием деревянных стоек и ферм, является обеспечение жесткости, прочности и несущей способности узловых сопряжений, в том числе узла сопряжения стойки с фундаментом (опорного узла). Однако, вопросы проектирования, расчета, узловых соединений деревянных конструкций изучены не в полном объеме, что приводит к ограничению их использования. Ниже рассмотрим основные конструктивные решения узлов для стержневых конструкций.

1.3 Обзор существующих пространственных блоков покрытия

С целью выявления основных направлений, закономерностей и приемов пространственных блоков покрытия в строительстве зданий был проведен анализ теоретических исследований и опыта проектирования и строительства зданий с пространственными конструкциями.

К конструкциям с наименьшей металлоёмкостью, относятся те конструкции, в которых профилированный лист совмещает как ограждающую, так и несущую функцию.

На рисунке 1.1 представлена шпренгельная плита покрытия, разработанная польскими специалистами. Плита состоит из профилированного листа и шпренгельной системы, позволяющей придать предварительное напряжение профилированному листу и повысить жесткость конструкции. В совместную работу с профнастилом включён утеплитель – полистиролбетон.

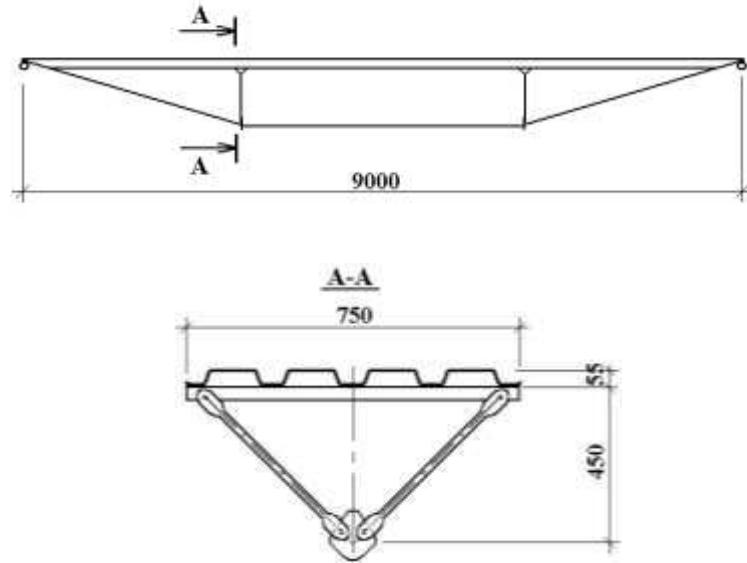


Рисунок 1.1 – Предварительно напряженные составные шпренгельные панели из стальных профилей и лёгкого бетона

В Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете им. В.В.Куйбышева разработаны и исследованы пространственные блоки покрытия складывающегося типа на пролеты 9, 12 и 18 м, в которых роль верхнего пояса играет стальной профилированный настил [5,6].

Высокую степень заводской готовности обеспечивает выполнение операций по сборке и креплению профилированного настила в заводских условиях болтами М10, а также возможность трансформировать их в плоские отправочные элементы полной заводской готовности длиной 9 или 12 м (рисунок 1.2).

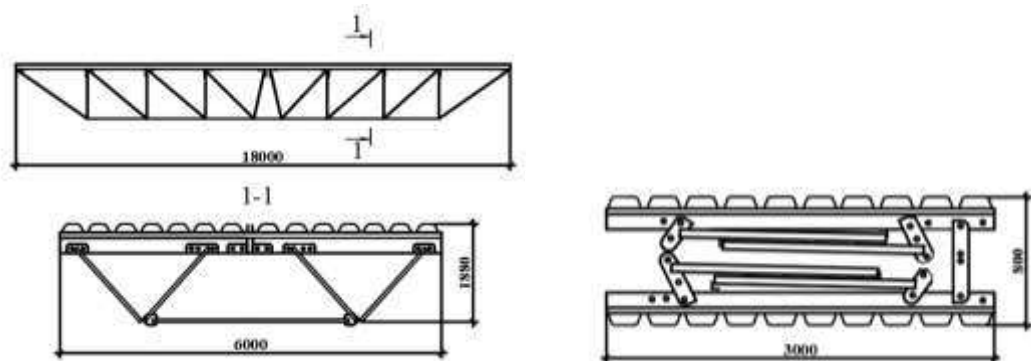


Рисунок 1.2 – Пространственный сборно-разборный блок покрытия

Складывать пространственный блок в плоские пакеты позволяет то, что верхние концы раскосов ферм примыкают к поперечным элементам через поворотные накладки с фасонками, а поперечные элементы объединяются по краям и в середине отправочного элемента с помощью соединительных планок.

Испытания показали, что в этой конструкции профилированный настил работает как сжато-изогнутая плита с неравномерным распределением нормальных напряжений по ширине верхнего пояса с максимальным их значением по линии прикрепления раскосов и стоек. Максимальные напряжения в настиле в пролете блока не превосходили 90...100 МПа, что свидетельствует о недоиспользовании прочностных свойств материала профнастила. При этом разрушение блока на пролет 9 м произошло из-за потери устойчивости настила, на пролет 12, 18 м раз из-за потери устойчивости сжатых стоек ферм.

Для повышения несущей способности профилированных листов было принято придавать профлисту криволинейную форму для создания в нем преднапряжения. Несущая способность увеличивается за счет предварительного упругого деформирования его в продольном направлении.

Предварительное напряжение профнастила обеспечивается путём придания ему криволинейного очертания (рисунок 1.3). Настил крепится к прогонам из одиночных профилей-швеллеров, расположенных стенкой вверх и выполняет функции верхнего сжатого пояса пространственной секции.

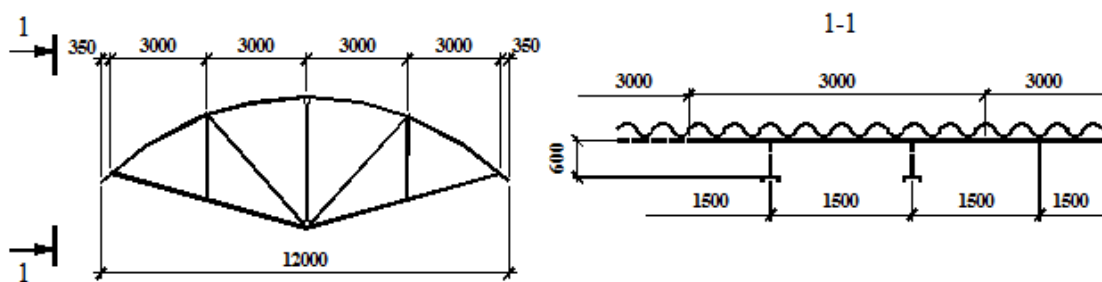


Рисунок 1.3 – Предварительно напряженная конструкция секции покрытия с верхним поясом из профилированного листа

Представляют интерес исследования предварительно напряжённых цилиндрических панелей-оболочек из стального профнастила, проводимые в Белорусской государственной политехнической академии [7] (рисунок 1.4).

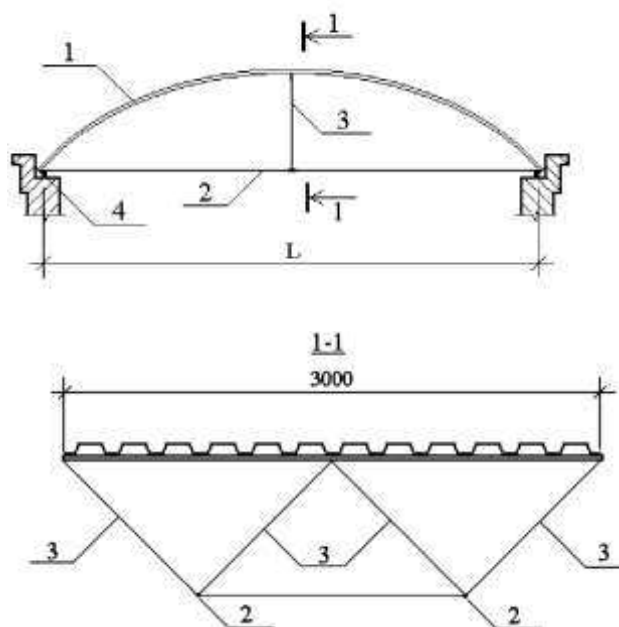
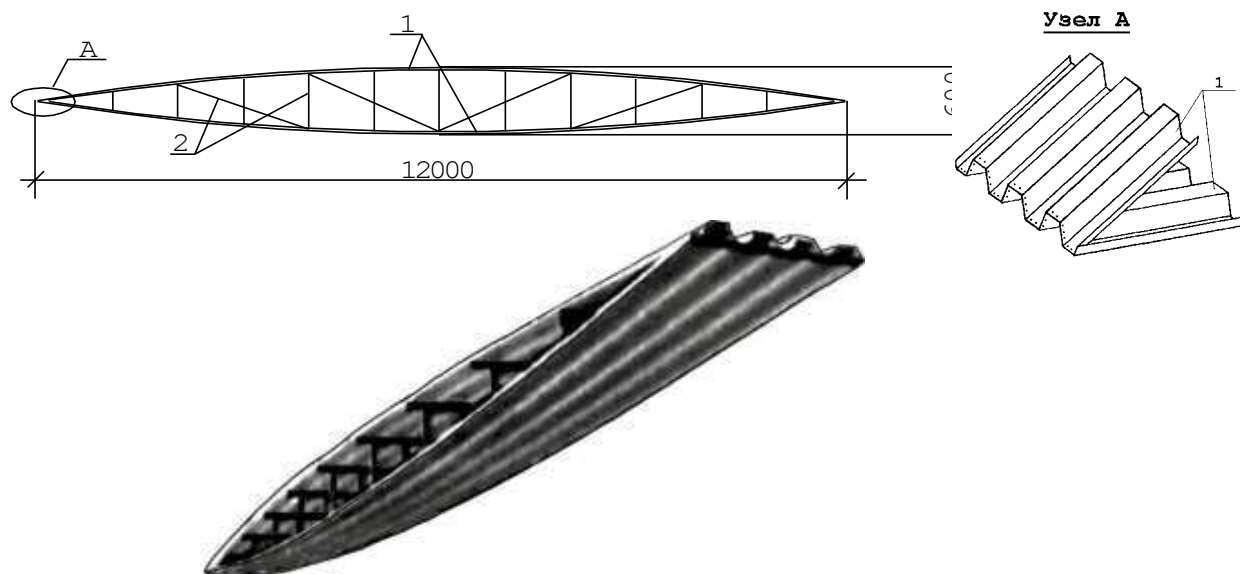


Рисунок 1.4 – Цилиндрическая панель-оболочка:
1 – профлист, 2 – затяжки, 3 – поперечные элементы

Существует два способа придания профнастилу криволинейной формы: 1) опорные конструкции к профлисту закрепляются с эксцентриситетом после крепятся поперечные элементы и затяжки, которые впоследствии натягиваются, вызывая искривление профлиста; 2) листы профнастила укладываются узкими гофрами вверх на две опоры, загружаются до получения требуемой величины провисания, и затем лист фиксируется при помощи затяжки и стоек. При этом наибольшая величина выгиба определяется условием устойчивости сжатых граней листов.

Ученые Красноярской государственной архитектурно-строительной академии под руководством д.т.н. Енджиевского Л.В. начали эффективно использовать профилированные листы в разработанных предварительно напряжённых линзообразных блоках покрытия [8,9].

Блок включает в себя два несущих пояса, выполненных из профлистов, изогнутых по форме квадратной параболы. Пояса объединены пространственной стержневой решёткой, состоящей из жёстких рамок-стоек и раскосов из гнутых (прокатных) уголков. При этом поясные листы по концам соединяются контактной точечной сваркой (рисунок 1.5).



1 – пояса из профилированных листов, 2 – промежуточные элемент
Рисунок 1.5 – Линзообразный блок покрытия (Красноярский ИСИ)

Одной из последних разработок блока сводчатого типа является пространственная система двухпоясного арочного покрытия (рисунок 1.6) с совмещением в стальных профилированных листах, формирующих верхний и нижний пояса, несущих и ограждающих функций [10].



Рисунок 1.6 – Пространственное перенапряжённое двухпоясное арочное покрытие

Конструкция представляет собой блок покрытия, верхний и нижний пояса выполнены из профилированных листов, соединенных контактной точечной сваркой. Рамы-стойки выполнены из равнополочных прокатных уголков, соединенных полуавтоматической сваркой. Приварка раскосов к центральным элементам и стержневой системы к поясным профилированным листам производилась ручной электродуговой сваркой.

Для обеспечения жесткости в поперечном направлении покрытия в середине и в четвертях пролета конструкции предусмотрена постановка связевых рам-стоек.

Идея использования профилированных листов совместно с деревянным каркасом удачно реализована в Новосибирском ГАСУ Дмитриевым П.П. [11].

Плита образована продольными гнутоклееными, очерченными по дуге окружности ребрами и обшивкой из профилированных стальных листов. Плита через 3 м опирается на поперечные решетчатые системы, образуемые горизонтальными ригелями и наклонно расположенными стойками, раскрепленными по низу распорками.

Им были проведены исследования деревометаллических блок-ферм и плит покрытия, в которых обшивка из профилированных листов включена в общую работу продольных деревянных поясных ребер. Блок-ферма пролетом 24 м имеет «рыбообразное» очертание (рисунок 1.7). Конструкция представляет собой криволинейную неразрезную плиту, усиленную двумя шпренгелями.

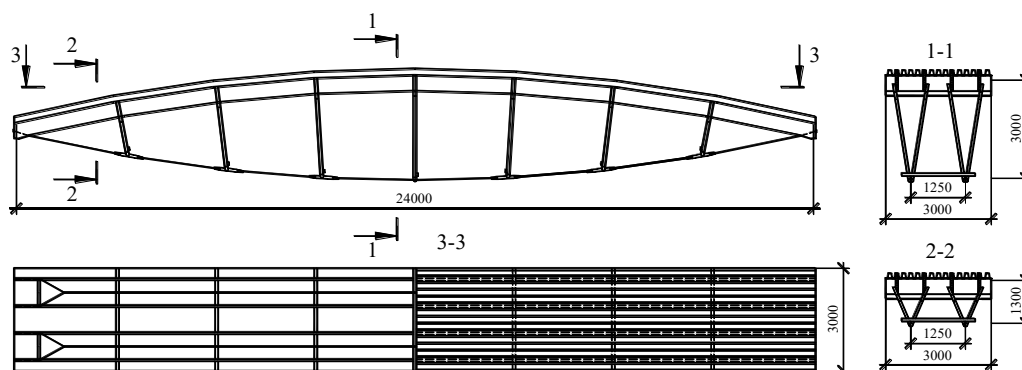


Рисунок 1.7 – Деревометаллическая блок-ферма «рыбообразного» очертания

Ребра криволинейных плит по длине не имеют стыков, а листы профнастила стыкуются по середине пролета. При этом конструкция стыка настила не рассчитана на передачу сжимающих усилий (т.е. на изгибающий момент и продольные силы в месте стыка работают только клееные ребра).

По мнению автора [11] в целях увеличения несущей способности и изгибной жесткости плит верхней обшивке из профилированных листов целесообразно придавать выгиб по ширине плиты.

На основе анализа конструктивных решений с использованием профлиста, можно сделать следующие выводы:

– профилированный лист получил широкое распространение как ограждающий элемент. Для повышения эффективности использования профлиста как несущего элемента необходимо увеличить его изгибную жесткость, что возможно при включении профнастилов в общую работу, например, с элементами решетки и нижним поясом в безраскосных решетчатых конструкциях.

– применение настилов позволяет исключить необходимость устройства кровель, снизить трудоемкость их изготовления, сократить общие сроки возведения покрытий зданий. В этой связи особенной экономии следует ждать от применения комбинированных конструкций в мобильных сборно-разборных зданиях, которые за период эксплуатации перебазируются с места на место 3...5 раз.

– отметим особо, что в ряде известных сквозных металлических конструкций с использованием профилированного настила представляется возможным и целесообразным для раскосов и нижнего пояса взамен металла использовать древесину, имеющую небольшую массу.

1.4 Опорные узловые соединения деревянных конструкций

Сортаменты могут значительно ограничивать размеры пиломатериалов, используемых в качестве элементов той или иной деревянной конструкции,

вследствие чего стали необходимыми такие операции, как сплачивание или сращивание.

Анализ конструктивного исполнения пространственных конструкций типа шатров, арок, куполов (стержневых), ферм, сводов, рам показал наличие множества узловых и стыковых соединений.

Выбор того или иного типа соединения деревянных конструкций определяется характером работы элементов соединения, способом передачи усилий между ними, то есть зависят от вида механических связей [12].

Для элементов, испытывающих нагрузку сжатия, целесообразно в качестве способа соединения использовать лобовые упоры или врубки с установленными дополнительными накладками, стянутыми болтами (соединенными гвоздями), которые стабилизируют работу соединения.

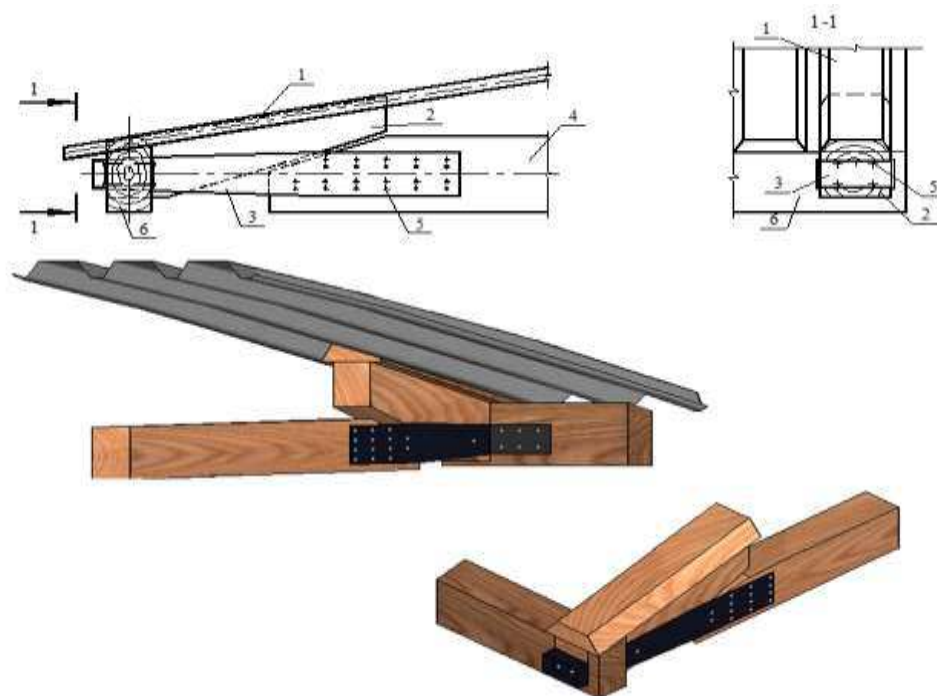
Для элементов или стыков, испытывающих растягивающую нагрузку, расположенных под углом друг к другу, требующих сплачивания, целесообразно в качестве способа соединения использовать соединения на механических связях.

Классифицировать такие связи можно, например, в зависимости от характера работы:

- скалывающие (на смятие);
- сдвиговые;
- изгибающие;
- растягивающие.

Наиболее нагруженными, а потому и наиболее ответственными являются опорные узлы блок-сводов, в которых соединяются свод с балками-затяжками. Был проведен конструкторский поиск оптимальных технических решений узла сопряжения профилированного листа с балками-затяжками [13].

Опорный узел, изображенный на рис. 1.9, запроектирован с использованием деревянной подушки.



1 – профлист; 2 – деревянная подушка; 3 – сварной П-образный узловой элемент;
 4 – балка-затяжка; 5 – дюбели-гвозди; 6 – бортовой элемент из деревянного бруса

Рисунок 1.9 - Узел сопряжения профилированного листа свода и балки-затяжки на опоре с упором в деревянную подушку

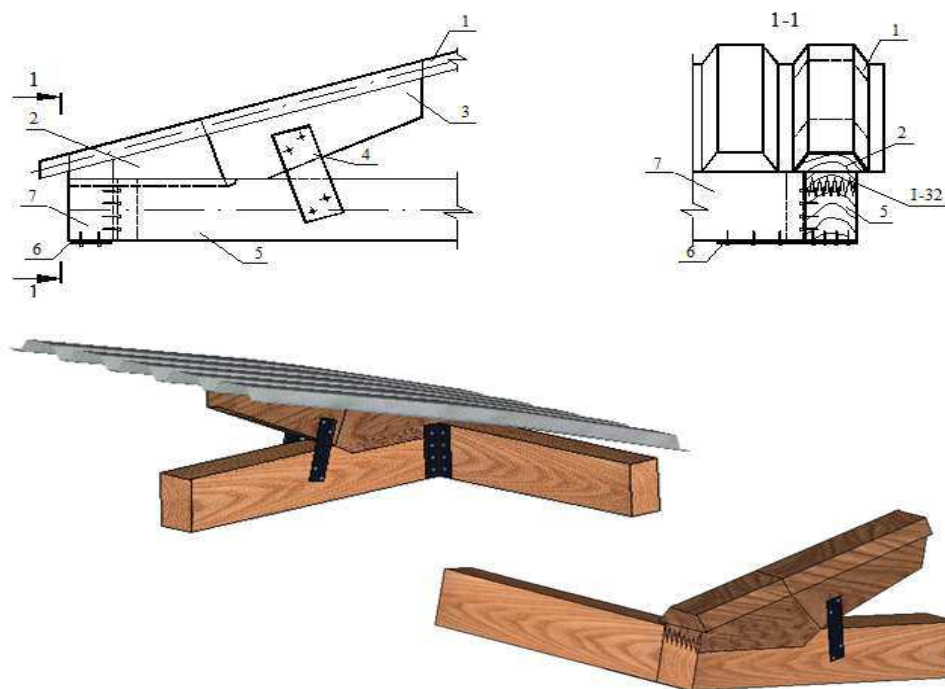
Подушка с фрезерованными гранями, имеющая трапециевидное поперечное сечение, выполнена из древесины, клеена в гофр профилированного листа и уперта в перекладину сварного П-образного узлового элемента. Последний включает в себя упор-швеллер и стальные накладки.

Усилие с профилированного листа передается через клеевой шов на подушку, далее на сварной П-образный узловой элемент и через дюбели-гвозди на балку-затяжку.

В целях уменьшения расхода стали, предложен вариант узла, в котором функции упора-швеллера выполняет деревянная подушка, приклеенная к балке-затяжке посредством зубчатого соединения (рисунок 1.10).

При таком решении увеличивается площадь контакта балок-затяжек с профилированным листом, что благоприятно влияет на передачу усилий со

свода на балки. Для восприятия возможных усилий отрыва свода от балок-затяжек предусмотрены дополнительные стальные накладки с зубьями из дюбелей-гвоздей.



1 – профлист; 2 – деревянная подушка; 3 - упорная деревянная подушка; 4 –металлическая накладка на дюбелях-гвоздях; 5 – балка-затяжка; 6 – соединительная металлическая накладка; 7- бортовой элемент из деревянного бруса

Рисунок 1.10 - Узел сопряжения профлиста и балки-затяжки на опоре с упорной в деревянной подушкой

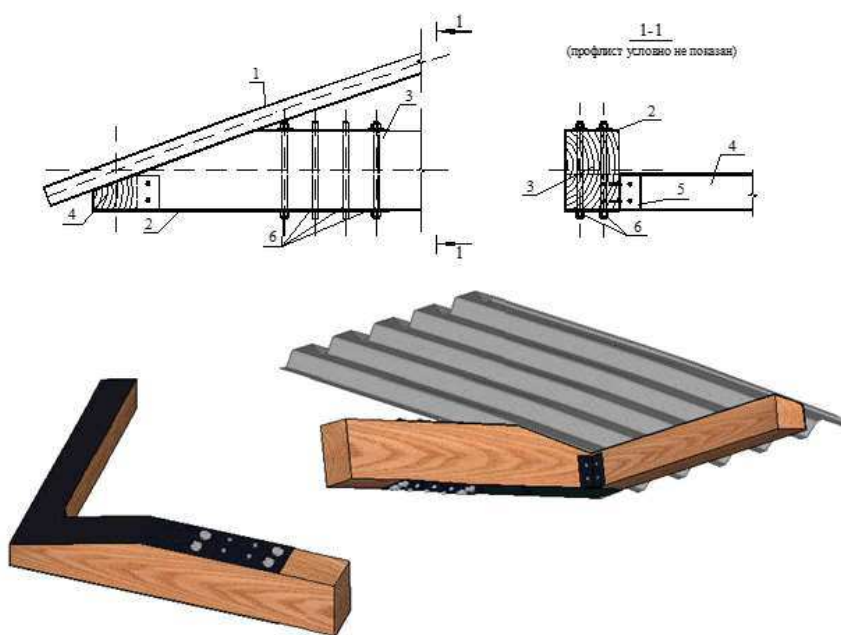
Несомненно, что рассмотренные выше решения узлов предполагают высокую технологическую культуру и дисциплину производителей, а потому и имеют ограничения при продвижении блок-сводов на строительном рынке.

Большей живучестью и устойчивостью к технологическим погрешностям обладает третий вариант опорного узла, показанный на рисунке 1.11. Здесь сопряжение профлиста с балкой-затяжкой на опоре осуществляется при помощи металлического хомута из полосовой стали, прикрепленного к брусу стальными цилиндрическими нагелями и шпильками, а к профилированному листу – контактной электросваркой.

Балки-затяжки в поперечном направлении объединяются в монтажную единицу бортовым элементом из деревянного бруса.

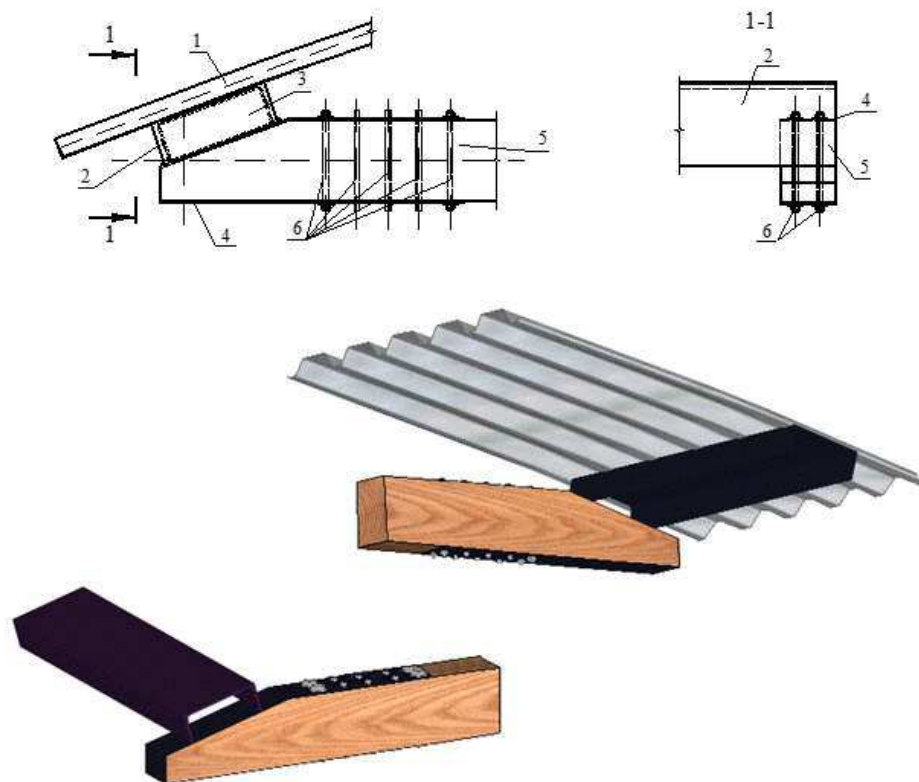
Для усиления опорного узла предусмотрена постановка полосовой накладки из профлиста, соединяющаяся со сводом комбинированными заклепками.

Идея включения бортового элемента в общую работу в качестве элемента жесткости реализована в четвертом варианте опорного узла (рисунок 1.12), отличающегося от предыдущего тем, что балки-затяжки соединяются между собой на опоре швеллером, который опирается на брус через металлическую накладку. Последняя выполняет роль аварийного элемента и крепится к балке-затяжке нагелями. Сопряжение профилированного листа со швеллером осуществляется самонарезающими болтами.



1 – профлист; 2 – металлический хомут; 3 – балка-затяжка; 4 – бортовой элемент из деревянного бруса; 5 – уголок; 6 – шпильки и стальные цилиндрические нагели

Рисунок 1.11 - Сопряжения балки жесткости с профлистом на опоре при использовании металлического хомута



1 – профлист; 2 – швеллер; 3 – ребра жесткости; 4 – металлическая накладка; 5 – балка-затяжка; 6 – шпильки

Рисунок 1.12 - Сопряжения балки-затяжки с профлистом на опоре при использовании швеллера

1.5 Преднапряжение в металлических и деревянных конструкциях

Под предварительным напряжением строительных конструкций понимают специальные приемы регулирования внутренних напряжений в конструкциях с целью повышения их эффективности. Создание предварительного напряжения может происходить на разных стадиях: во время изготовления конструкции, при монтаже, при эксплуатации или реконструкции.

Используя преднапряжение конструкций можно снизить их массу, стоимость, возникающие деформации, а также увеличить их жесткость и устойчивость. Также, преднапряжение может быть использовано при усилении конструкций [14].

Для преднапряженных конструкций и элементов из древесины важную роль играют следующие потери преднапряжения:

- потери от релаксации напряжений в арматуре при натяжении - σ_1 ;
- потери от деформации древесины под шайбами, фасонками, смещения стержней в зажимах, фасонки σ_3 ;
- потери от трения арматуры о древесину или об огибающие элементы σ_4 ;
- потери от укорочения элемента (деформаций в узлах);
- потери от ползучести древесины;
- потери от температурно-влажностных перепадов.

Эффективен способ создания предварительного напряжения путем присоединения металлических подкрепляющих элементов в виде пространственно ориентированных шпренгелей, тросов с подвесками, стоек и т.п. к узлам нижнего пояса конструкций, снабженных натяжными устройствами. Расчет преднапряжения в натяжных элементах рассчитывается так же, как и в металлических конструкциях, и рассмотрен ниже.

Применение предварительного напряжения в строительных конструкциях является одним из направлений технического прогресса, обеспечивающим качественно более высокий технический уровень конструкций.

Предварительное напряжение целесообразно если эффект, получаемый от него, полностью окупает дополнительные затраты. Основной идеей предварительного напряжения является создание искусственным путем в конструкции, стержне или наиболее напряженном сечении стержня напряжения обратного знака тем напряжениям, которые возникают при действии эксплуатационной нагрузки.

Предварительное напряжение металлических конструкций создается различными приемами:

- предварительное напряжение регулированием уровня опор (суть приема – поддомкрачивание, подклинка или устройство опор на разном уровне

для видоизменения внешних эпюр изгибающих моментов в неразрезных конструкциях);

– изменение внутренней эпюры напряжений путем сварки двух балок, предварительно выгнутых в направлении, обратном изгибу от проектной внешней нагрузки;

– предварительное напряжение стальных гибких стержней;

– регулирование усилий в процессе сборки сооружения путем изменения расчетной схемы (введение шарнира или, наоборот, жесткого узла в процессе возведения либо постановка дополнительных элементов);

– и наиболее интересующим нас способом - созданием предварительного напряжения с помощью затяжек из высокопрочных материалов.

Предварительное напряжение затяжками применяется в балках и фермах.

Суть расчета предварительного напряжения в балках сводится к тому, чтобы найти максимально возможное усилие начального натяжения затяжки, при котором устойчивость пояса обеспечена:

$$N_0 = R \cdot \varphi \cdot A \cdot W / (W + c \cdot A) \gamma_1,$$

где N_0 - усилие предварительного натяжения затяжки;

R – расчетное сопротивление растяжению;

φ – коэффициент продольного изгиба пояса (как отдельного стержня) относительно вертикальной оси балки при свободной длине, равной расстоянию между местами соединения пояса с затяжкой;

c – расстояние между центрами тяжести сечения затяжки и жесткой части балки;

W , A – момент сопротивления и площадь сечения жесткой части балки.

Повышение эффективности предварительного напряжения конструкций из древесины можно решить путем добавления пружинных элементов, с помощью постановки различных натяжных, дерелаксационных устройств. В целях обеспечения надежности создаваемых предварительно напряженных конструкций их расчет надлежит производить с учетом ползучести, податливости соединений и температурно-влажностных деформаций деревянных элементов. В научно-технической литературе практически отсутствуют сведения об исследовании напряженно-деформированного состояния предварительно-напряженных деревянных элементов [15].

1.6 Выводы по первой главе

1. Выполнив обзор литературы и патентов, в котором был отражен Российский опыт создания блоков покрытия, можно сделать следующие выводы:

1) Блоки покрытия – это активно развивающаяся конструкция, благодаря которой можно обеспечить более эффективное использование конструкции и здания в целом;

2) Используя пространственные блоки, можно добиться повышения эффективности здания за счет, уменьшения материалоемкости и включения в работу элементов ограждающих конструкций таких как профилированные листы;

3) Пространственные блоки покрытия могут рассматриваться как с утеплением этого блока, так и без утепления конструкции в зависимости от требуемого назначения помещений;

4) В качестве бортового элемента пространственного блок-свода могут использоваться металлические швеллеры, уголки и деревянные бруски.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОРНОГО УЗЛА КОМБИНИРОВАННОГО БЛОК-СВОДА

2.1 Описание предлагаемой конструкции

Исследование напряженно деформированного состояния бортового элемента рассмотрена на основе существующей пространственной конструкции комбинированного блок-свода с размерами блока 18x1,5м и высотой 1,03м.

Опорный узел пространственной конструкции содержит:

- балку затяжку 1;
- несущий профилированный лист 2 криволинейного очертания, изогнутого в продольном направлении;
- бортовой элемент в виде металлического уголка 3 с ребрами жесткости 4;
- металлическую накладку 5.

Для обеспечения жесткости металлические пластины (ребра жесткости) привариваются к бортовому элементу с шагом a .

$$a = 2 \cdot h_w, \quad (2.1)$$

где h_w – высота сечения бортового элемента.

Для соединения балки затяжки с бортовым элементом используется металлическая накладка. В местах крепления накладке к балке-затяжке предусмотрены отверстия под шпильки. К бортовому элементу накладка крепится с помощью сварки.

Для изготовления металлических накладок применена малоуглеродистая фасонная и листовая сталь по ГОСТ 27772-2021 [18] марок С235 и С245.

Блок-свод запроектирован из прямолинейных стальных профилированных листов по ГОСТ 24045-2016 [19]. При выборе марки профилированного

листа предпочтение отдавалось профилям, имеющим небольшую высоту гофр (35...75 мм) и относительно узкие горизонтальные полки для обеспечения поздней потери их местной устойчивости. Это обстоятельство обуславливает невысокие напряжения от предварительного конструктивного выгиба профлиста. Максимальная ширина заготовки листа при толщине листа 0,55-1,5 мм составляет 1250 мм.

При формообразовании свода из прямолинейных профлистов определяющим критерием для назначения радиуса является предельный конструктивный выгиб, который можно придать проектируемой конструкции.

В [1] Марышевым А.Ю. предложена формула для вычисления максимального значения выгиба:

$$f = \frac{40\sigma_{np} l^2 W^{yz(u)}}{384 EI^{yz(u)}} nm, \quad r = \frac{f}{1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (2.2)$$

где σ_{np} – предельные напряжения в рассматриваемых полках профлиста;

l – длина профлиста;

$W^{yz(u)}$, $I^{yz(u)}$ – соответственно момент сопротивления и момент инерции поперечного сечения профиля при сжатии узких или 2 в виде швеллера.

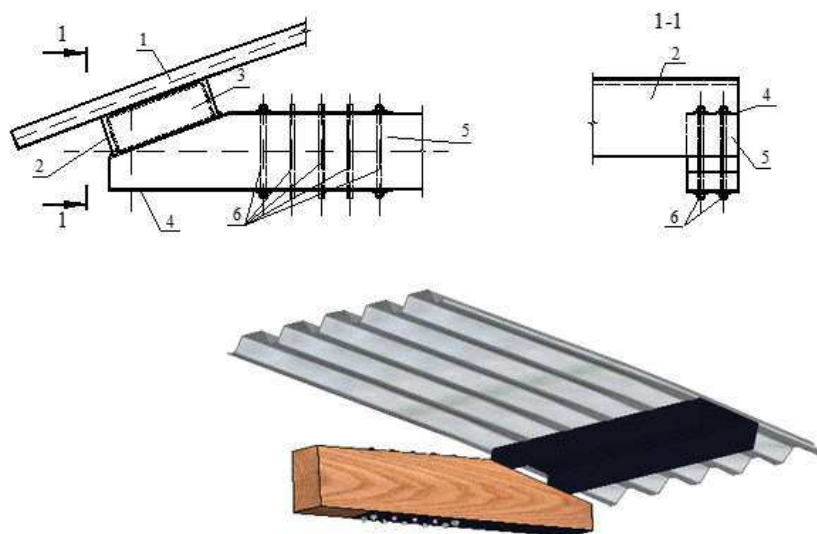


Рисунок 2.1 - Сопряжения балки-затяжки с профлистом на опоре при использовании швеллера в расположении «П»



Рисунок 2.2 - Сопряжения балки-затяжки с профлистом на опоре при использовании швеллера

В представленном выше узлом соединении необоснованно высокая материалоемкость и трудоемкость изготовления данной деревянной балки-затяжки.

Еще одним минусом данного узлового соединения является то, что нет возможности опереть предполагаемый блок-свод на несущие элементы здания (обвязочный брус, несущие стены, колонны).

В следствии выявленных недостатков был предложен узел с опорным элементом в виде металлического уголка и накладке.

Преимуществом опорного соединения с опорным элементом в виде уголкового элемента является меньшая металлоемкость, в следствии меньший вес и ровная горизонтальная поверхность нижнего пояса для операния на колонны (обвязочный брус, несущие стены) здания.

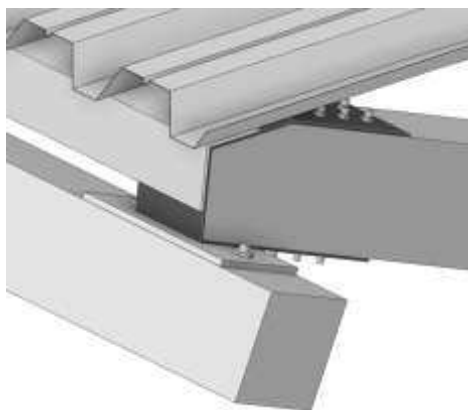


Рисунок 2.3 – Предполагаемое опирание блок-свода на обвязочный брус через металлическую накладку

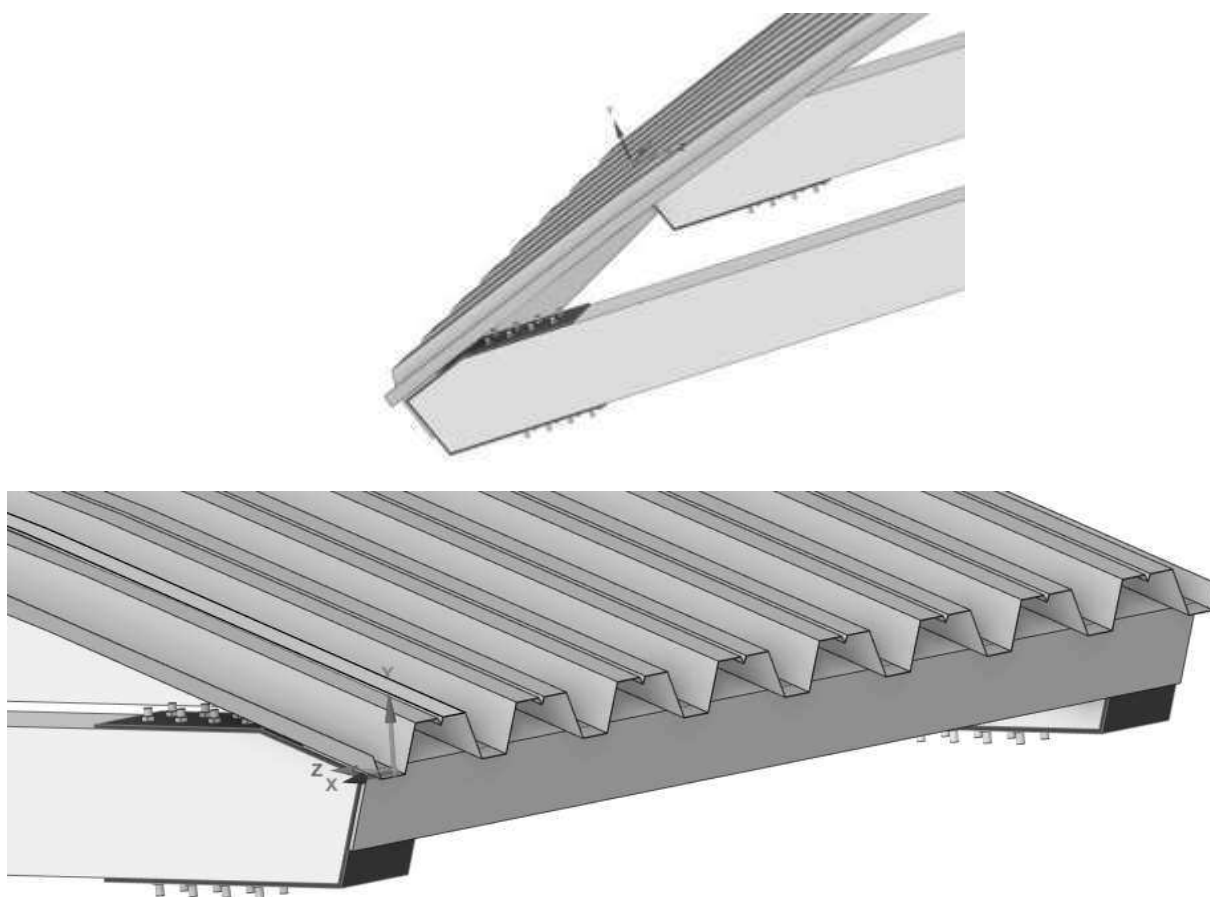


Рисунок 2.4 - Сопряжения балки-затяжки с профлистом на опоре при использовании углового профиля

2.2 Выводы по второй главе

Описанное узловое соединение, которое является основой магистерской диссертации, может быть создано с различными бортовыми элементами такими как швеллер, уголок и так далее. Для окончательного выбора бортового элемента следует сопоставлять напряженно-деформированное состояние возникающее в этих элементах, металлоемкость и экономическую целесообразность.

ГЛАВА 3 ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО УЗЛОВОГО СОЕДИНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО БЛОК-СВОДА

3.1 Обзор существующих программных комплексов, используемых для расчетов строительных конструкций

Существует множество программ, позволяющих выполнить расчеты и визуализировать их результаты. Практически не осталось ограничений по расчету сооружений любой сложности - в статике и динамике, в упругой и неупругой стадиях работы, с учетом последовательности и технологии возведения, включая изменение конструктивной схемы и появление новых нагрузок при реконструкции.

В настоящее время для проведения расчетов строительных сооружений широко используются различные программные комплексы, реализующие метод конечных элементов, позволяющие с полным соответствием реальным геометрическим размерам и физико-механическим свойствам моделируемого объекта оценить его напряженно-деформированное состояние и спрогнозировать его поведение. Среди них можно отметить такие сопровождающие строительное проектирование программные продукты, как: Мономах, ANSYS, SCAD, Лира-СОФТ, Autodesk Robot Structural Analysis Professional, МОНОМАХ, APM Civil Engineering, ПК STARK ES.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional - программный комплекс, предназначенный для проведения расчетов строительных конструкций зданий и сооружений на прочность, устойчивость и динамические воздействия [23].

ПК ЛИРА - универсальный программный комплекс для проектирования и расчета прочности и устойчивости строительных и машиностроительных конструкций [24].

ПК MOHOMAX - универсальный программный комплекс, позволяющий решать большой класс задач расчета и проектирования железобетонных, каменных и армокаменных конструкций [25].

SCAD Office - это система, которая базируется на методе конечных элементов (МКЭ) и предназначена для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС), устойчивости, определения частот и форм собственных колебаний, анализа температурных воздействий, решения задач статики и динамики в линейной или нелинейной постановке, а также широкого класса строительных, машиностроительных и других задач [26].

ПК STARK ES - программный комплекс для расчета конструкций зданий и сооружений на прочность, устойчивость и колебания на основе метода конечных элементов [27].

APM Civil Engineering система проектирования и анализа металлических, железобетонных и деревянных строительных конструкций [28].

ANSYS - самая распространенная в мире, многофункциональная система конечно-элементных расчетов [29]. Является довольно популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. ПК ANSYS – это многоцелевой пакет программ для численного моделирования физических процессов и явлений. Одной из ключевых областей применения программного комплекса ANSYS является механика деформируемого твердого тела (МДТТ).

В программе ANSYS легко задать любую характеристику для изотропного материала, свойства которого не зависят от температуры. Однако боль-

большинство материалов можно считать ортотропными, со свойствами, зависящими от температуры. Зависимость свойств от температуры может быть задана одним из двух следующих способов.

Первый способ представляет собой табличное задание. Входными величинами являются значения температуры и соответствующей характеристики материала. Значение характеристики для данной температуры конечного элемента определяется интерполяцией табличных величин.

Второй способ задания температурной зависимости состоит в определении значения свойства материала как полинома четвертой степени:

$$(T) = A + B(T) + C(T)^2 + D(T)^3 + E(T)^4, \quad (3.1)$$

где T - температура; A, B, C, D, E - входные величины, являющиеся коэффициентами полинома.

Задавать все коэффициенты необязательно; для свойств, не зависящих от температуры, коэффициенты B, C, D, E равны нулю. При использовании этой формы ввода данных, заданная кривая преобразуется программой ANSYS в таблицу, подобную той, что вводится непосредственно при первом способе.

В данной магистерской работе был использован ПК ANSYS, т. к. он широко используется в учебном процессе и соответствует СП и ГОСТ.

3.2 Задание расчетной схемы и сбор нагрузок в ПК «ANSYS»

1 Общие положения

Узловое соединение представляет собой связь блок-свода, в котором нижний пояс выполнен из древесины прямоугольного сечения (4), и верхнего пояса в виде изогнутого несущего профилированного настила (1), и бортового

элемента в виде уголкового проката(2), который крепится в торцевой части блока через металлическую накладку(3). Накладка к деревянному поясу крепится по средствам болтов(5), а уголок к накладке с помощью сварного соединения.

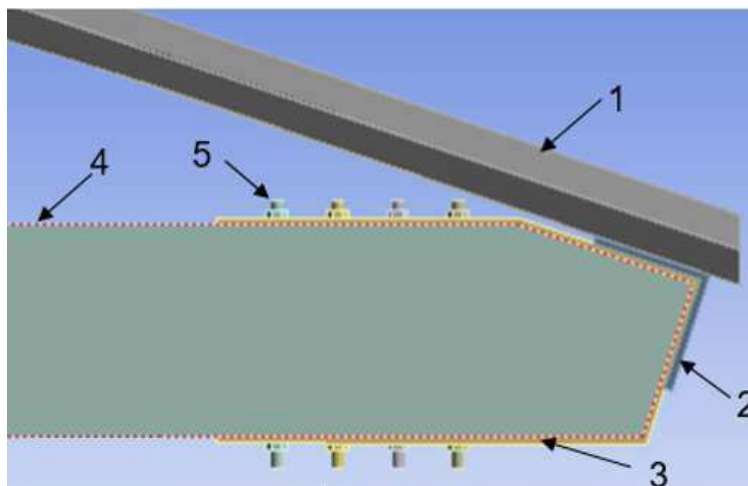


Рисунок 3.1 – Опорный узел

2 Методика расчета в ПК «ANSYS»

Решение метода конечных элементов (далее МКЭ) поставленной краевой задачи осуществляется программой ANSYS в три этапа соответственно логике метода.

На первом этапе (препроцессинге) создается основа конечно-элементной модели исследуемого объекта. Этот этап состоит из нескольких основных процедур:

1. Устанавливается физический тип задачи (механика деформируемого твёрдого тела, теплопередача, гидродинамика и т.д.), производится соответствующая настройка программы.

2. Выбирается тип конечного элемента в зависимости от размерности объекта и других его свойств. Могут быть заданы некоторые характеристики элемента.

3. Выбирается материал объекта и указываются все его необходимые свойства. Свойства можно задать с клавиатуры или импортировать из библио-

теки материалов ANSYS. Задание свойств определяет модель материала (линейно-упругий, упруго-пластичный, билинейный и т.д.), что влияет на выбор определяющих уравнений МКЭ.

4. Строится геометрическая твердотельная модель объекта. В классическом ANSYS для этого используется программный модуль. В Workbench используется модуль Design Modeler. Геометрическая модель может быть экспортирована из какого-либо CAD-пакета.

5. Геометрическая модель разбивается на конечные элементы. При разбивке могут быть заданы различные параметры сетки.

6. В случае контактной задачи устанавливаются контактные пары, определяется модель контакта и её характеристики.

На втором этапе происходит наложение на модель необходимых физических условий и решение задачи. Этап состоит из трех основных процедур:

1. Задание граничных условий – силы, перемещения (связи) и прочее.

2. Выбор типа анализа (статический, динамический, модальный и т.д.).

Возможен выбор метода решения системы уравнений МКЭ и задание параметров вычислительных процедур (числа шагов нагружения, числа итераций и др.).

3. Решение системы уравнений, полученной МКЭ. В результате формируется файл результатов, который содержит вектор найденных степеней свободы (узловых перемещений, узловых температур).

Третий этап (постпроцессинг) заключается в анализе результатов расчёта и получении карты результатов в виде изолиний.

Рассчитанные МКЭ физические величины (перемещения, деформации, напряжения, температуры и др.) представляются в графическом окне ANSYS в виде картинок, таблиц, графиков, анимаций. Все эти результаты можно записать в соответствующие файлы.

Рассматриваемый блок-свод покрытия классифицируется как пространственная непрерывно-стержневая система. Расчет производится в программном комплексе «ANSYS».

Расчет в ПК «ANSYS»

Предлагается следующий алгоритм расчета узлового соединения.

В ПК проектируется пространственная модель комбинированного блок-свода. Первым шагом создаётся геометрия. Верхний пояс Виз профилированного листа проектируется как твердотельный элемент выдавливания по дуге. Поперечное сечение верхнего пояса соответствует СТО и имеет заданные ребра жесткости и капиллярные канавки.

Все остальные элементы блок-свода такие как балка-затяжка, связи, пластины, уголки, болты, гайки и т.д смоделированы элементами выдавливания.

Далее всем элементам конструкции присваиваются соответствующие материалы. Характеристики металлических изделий подгружаются из библиотеки материалов программного комплекса, а свойства деревянных элементов вводятся вручную. Для каждого деревянного элемента задается локальная система координат.

Затем создаются сетки конечных элементов представленные на рисунке 3.1.

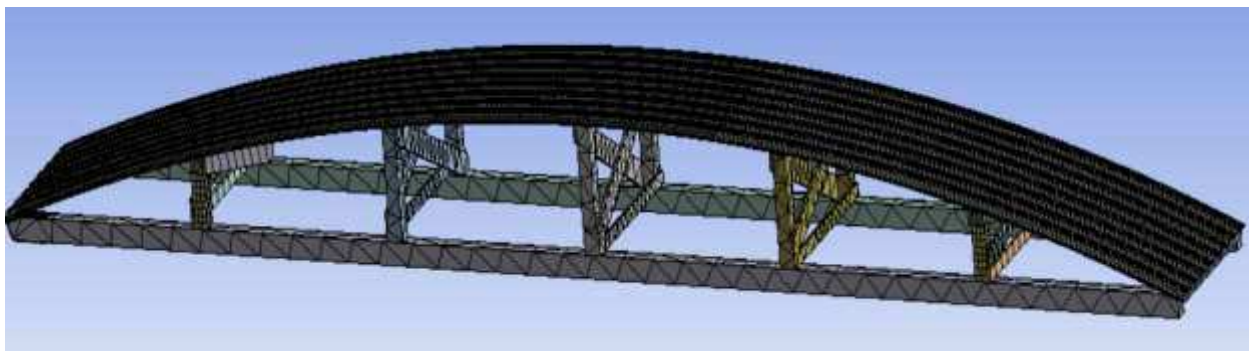


Рисунок 3.1 – Заданные сетки конечных элементов

После задаются контактные пары. В данной работе все контакты заданы жесткими, только контакт пластина-тело болта, тело болта-деревянная балка,

шляпка болта-пластина заданы, как контакт с трением с соответствующими коэффициентами. Для контакта дерево-метал коэффициент трения равен 0,20-0,50; металл-металл 0,15-0,20.

Вторым этапом задаются граничные условия нагружения. Собственный вес задается в программном комплексе автоматически. Снеговая нагрузка задается как давление на верхний пояс блок-свода.

Величины напряжений возникающих в комбинированном блок-своде определяется из расчета от действия равномерно распределенной нагрузки. Расчетная схема представлена на рисунке 3.2.

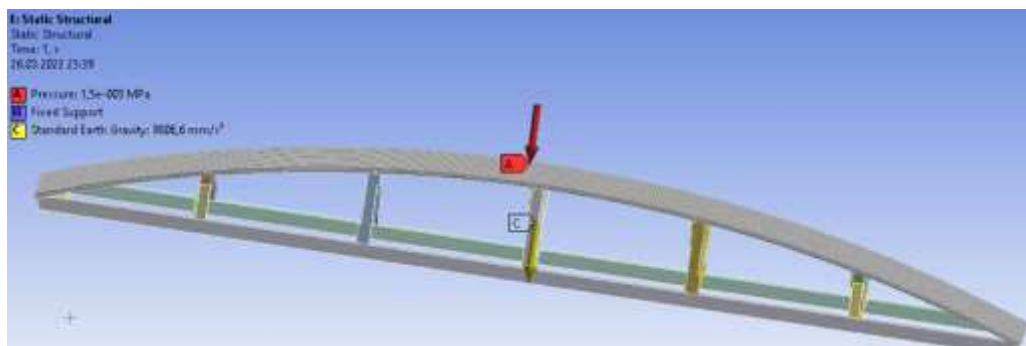


Рисунок 3.2 – Расчетная схема;

Деревянные балки-затяжки, объединены в блок бортовыми элементами. Работая на восприятие изгибающих усилий совместно со сводом, они одновременно играют роль затяжек, превращая блок-свод в безраспорную систему. Стык по длине балок-затяжек в середине пролета осуществлен с помощью металлических пластин и стальных цилиндрических нагелей.

Сопряжение балок-затяжек с профилированным листом в опорном узле решено с помощью металлической накладки.

Профилированный лист и балки-затяжки объединены в блок стойками рамного типа. Они образованы двумя сжатыми деревянными брусками, присоединенными к поперечным перекладинам с помощью металлических накладок и дюбелей-гвоздей и раскрепленными дощатыми связями. Примыкание

стоек к балкам-затяжкам осуществляется на металлических накладках, прикрепленных дюбелями-гвоздями.

Главной особенностью работы блока является восприятие изгибающего момента профилированным листом свода совместно с деревянными балками.

При этом балки совмещают функции затяжек.

Исходные данные:

Район строительства – г. Красноярск;

Длина плиты покрытия – 12 м;

Ширина плиты покрытия – 2 м;

Конструктивная высота плиты $H = 1,03$ м;

Шаг поперечных рам – 2 м (количество 5 шт.);

Соединение блок свода с несущими элементами здания – шарнирное.

Сбор нагрузок

Нагрузка от собственного веса конструкций

Задаем в ПК SCAD автоматически, нагрузку от собственного веса конструкций блок-свода задаем с коэффициентом надежности по нагрузке равным 1.05 согласно.

Так же необходимо учесть начальные напряжения возникающие при начальном изгибе профилированного листа

$$f = \frac{5}{384} \left(\frac{l_n^4 q}{EJ} \right), \quad (3.2)$$

где l_n – длина плиты, мм;

q – равномерно-распределенная нагрузка, Н/мм;

E – модуль упругости, Н/мм²;

J – момент инерции сечения, мм⁴.

Из формулы равномерно распределенную нагрузку q , Н/мм:

$$q = \frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5l_n^4}, \quad (3.3)$$

Для профилированного листа Н57-750-0,7 момент инерции $J = 54,3 \text{ см}^4$, требуемый прогиб f равен 1,03 м, модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, длина плиты покрытия l_n равна 12 м.

$$q = \frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5l_n^4} = \frac{384 \cdot 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 2,06 \cdot 10^8 \cdot 54,3 \cdot 10^{-8}}{5 \cdot 12^4} = 0,427 \text{ кН/м}, \quad (3.4)$$

Проверка значения модуля нагрузки соответствующего преднапряжению профилированного листа по ПК «Ansys»

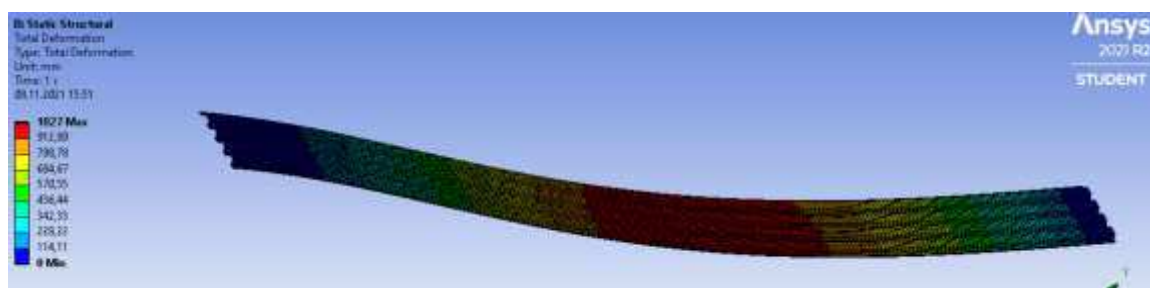


Рисунок 3.3 – Прогиб в профилированном листе от заданной нагрузки q

Расчет в программном комплексе подтвердил нагрузку соответствующую преднапряжению в профилированном листе, благодаря которому создается выгиб верхнего пояса, с максимальным прогибом 1,027 м, что в свою очередь примерно равно 1,03 м (заданной высоте блок-свода).

Характеристики материала древесины

В работе деформации в узловых соединениях комбинированных конструкций на основе древесины предлагается учитывать расчетом по деформируемой схеме с использованием условного модуля деформативности E_y .

Условный модуль деформативности рекомендуется вычислять по формуле:

$$E_y = \frac{E}{1 + \delta_0 \cdot E \cdot A / (N \cdot l)}, \quad (3.5)$$

где E – исходный модуль упругости деревянных элементов блока ($E=10000$ МПа);

δ_0 – расчетное предельное значение деформаций податливости, принимаемое в зависимости от предельной деформации узлового соединения (на лобовых врубках и торец в торец - 1,5 мм; на нагелях всех видов - 2,0 мм; в примыканиях поперек волокон - 3,0 мм) и степени использования несущей способности;

A – площадь сечения стержня, м²;

N – усилие, действующее в стержне, кН;

l – длина стержня, м.

Снеговая равномерная нагрузка

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g, \quad (3.6)$$

где c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, равен 1;

c_t – термический коэффициент, равен 1;

μ – коэффициент формы, учитывающий переход от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, равен

S_g – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, равен 1,5 кН/м².

Коэффициент формы, учитывающий переход от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, для зданий со сводчатыми и близкими к ним по очертанию покрытий рассчитывается по формулам:

$$\mu_1 = \cos(1,5\alpha). \quad (3.7)$$

где α – уклон покрытия, град;

при этом значения μ_1 вычисляются в каждой точке покрытия.

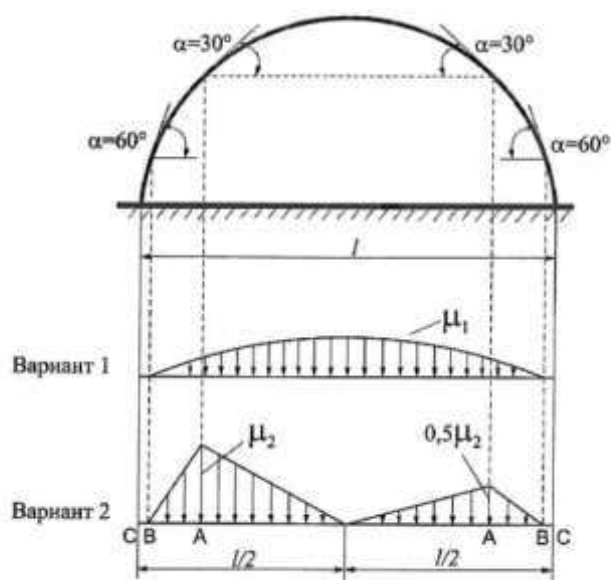


Рисунок 3.4 – Расчет коэффициента μ ;



Рисунок 3.5 – Значение коэффициента μ в различных точках блок-свода;

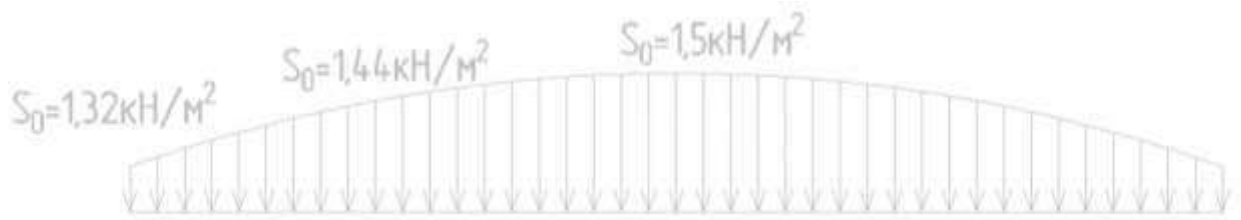
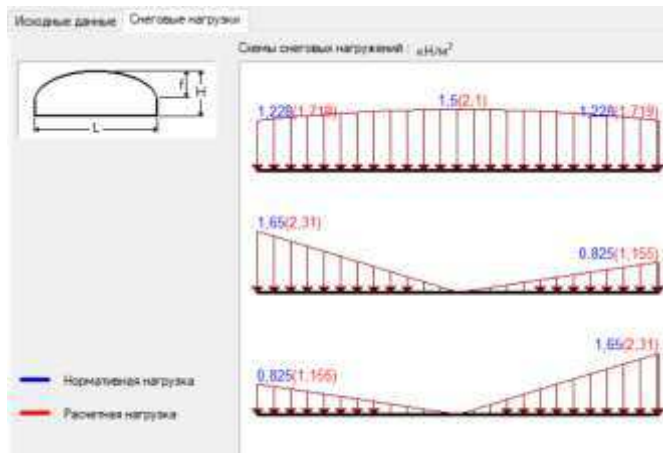


Рисунок 3.6 – Значение нормативной равномерной снеговой нагрузки на покрытие;

Проверку сбора снеговой нагрузки произведем в программном комплексе ВЕСТ:



СНЕГ

| Параметр | Значение | Единицы измерения |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Местность | | |
| Нормативное значение снеговой нагрузки | 1,5 | кН/м ² |
| Тип местности | В - Городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м | |
| Средняя скорость ветра зимой | 3 | м/сек |
| Средняя температура января | -20 | °С |
| Здание | | |
| | | |
| Высота здания H | 4,03 | м |
| Ширина здания B | 60 | м |
| L | 12 | м |
| f | 1,03 | м |
| Неутепленная конструкция с повышенным тепловыделением | Нет | |
| Коэффициент надежности по нагрузке γ_f | 1,4 | |

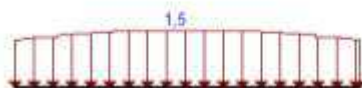


Рисунок 3.7 – Значение равномерной снеговой нагрузки на покрытие по ПК «Вест»

Расчет ветровой нагрузки

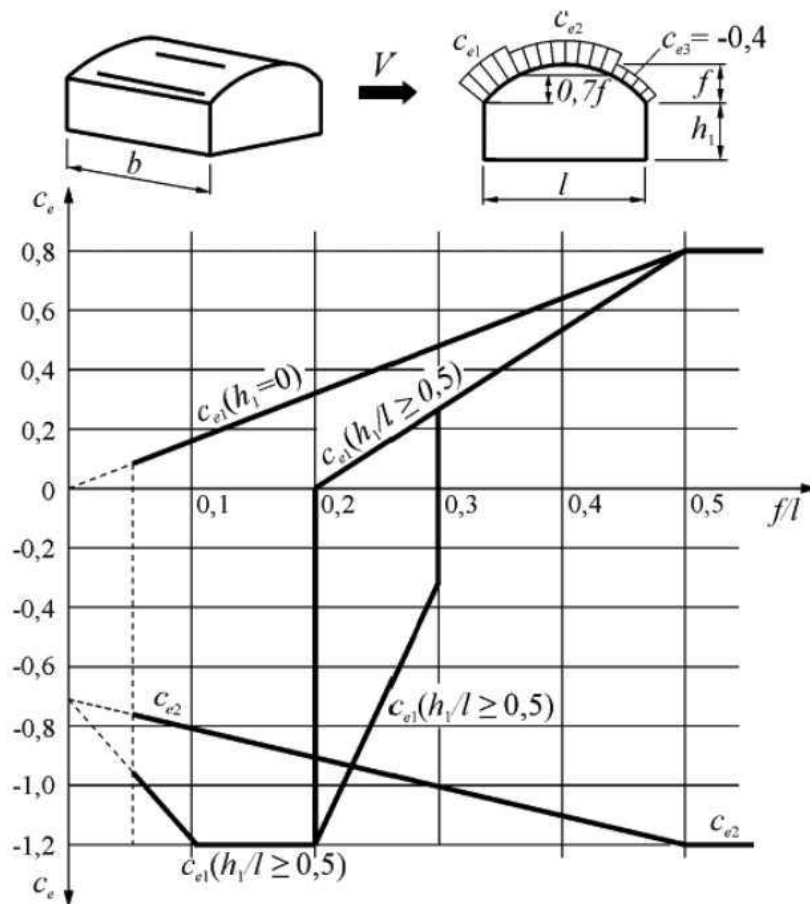


Рисунок 3.8 – Расчет аэродинамического коэффициента с

$$\omega = \omega_m + \omega_g; \quad (3.1.8)$$

$$\omega_m = \omega_0 k(z_e) c; \quad (3.1.9)$$

$$\omega_g = \omega_m \xi(z_e) v; \quad (3.1.10)$$

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки в данном виде работ не учитывается.

$$\omega_0 = 0,38 \text{кПа};$$

$$z_e = h = 4,03 \text{м};$$

Для типа местности В

$$k(z_e) = 0,5$$

При $h_1=0$

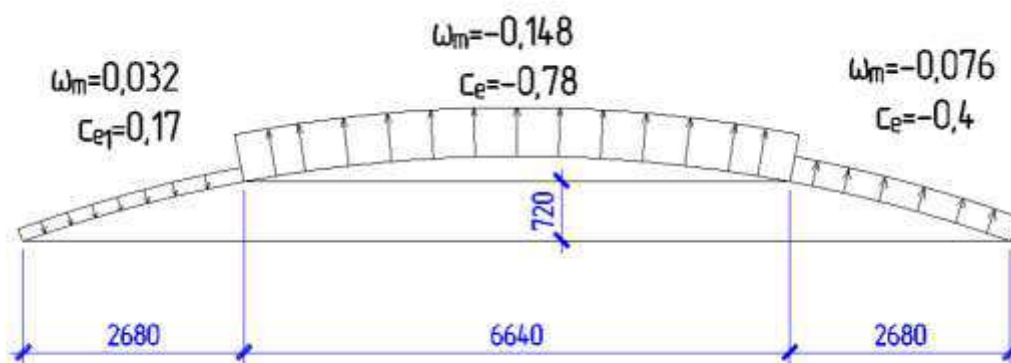


Рисунок 3.9 – Значение ветровой нагрузки на покрытие;

При $h_1=3\text{м}$

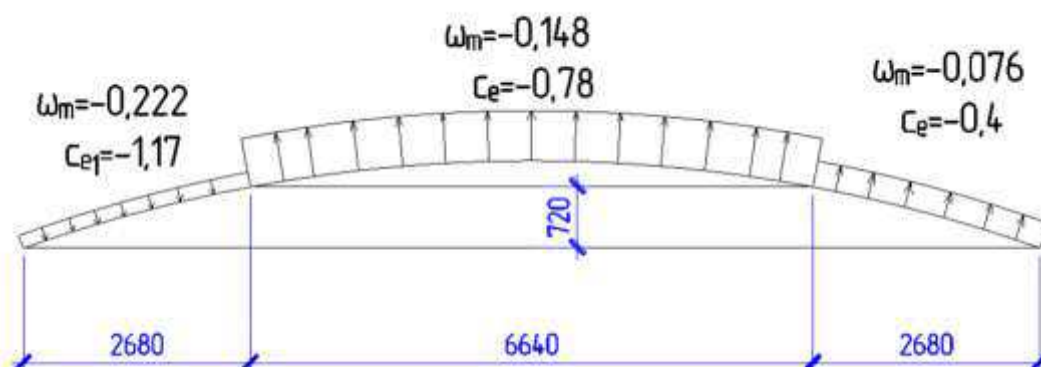


Рисунок 3.10 – Значение ветровой нагрузки на покрытие

Так как значения ветровой нагрузки малы по сравнению с собственным весом и снеговой нагрузкой и направление ветровой нагрузки в основном приложено так, что она действует на отрыв кровли было принято в данной работе пренебречь этими значениями и считать блок на максимальную нагрузку.

Блок-свод рассчитывается на максимально возможную нагрузку в виде собственного веса и веса снегового покрова (расчетная нагрузка равна $2,1\text{кН/м}^2$).

3.3 Численное исследование основных конструктивных элементов в ПК «Ansys»

– Покрытие 12м

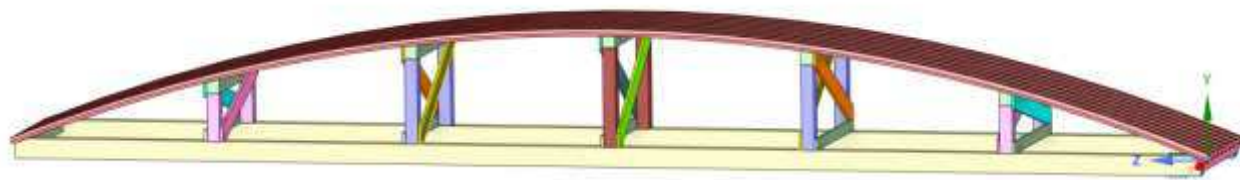


Рисунок 3.11 – Пространственная модель в ПК

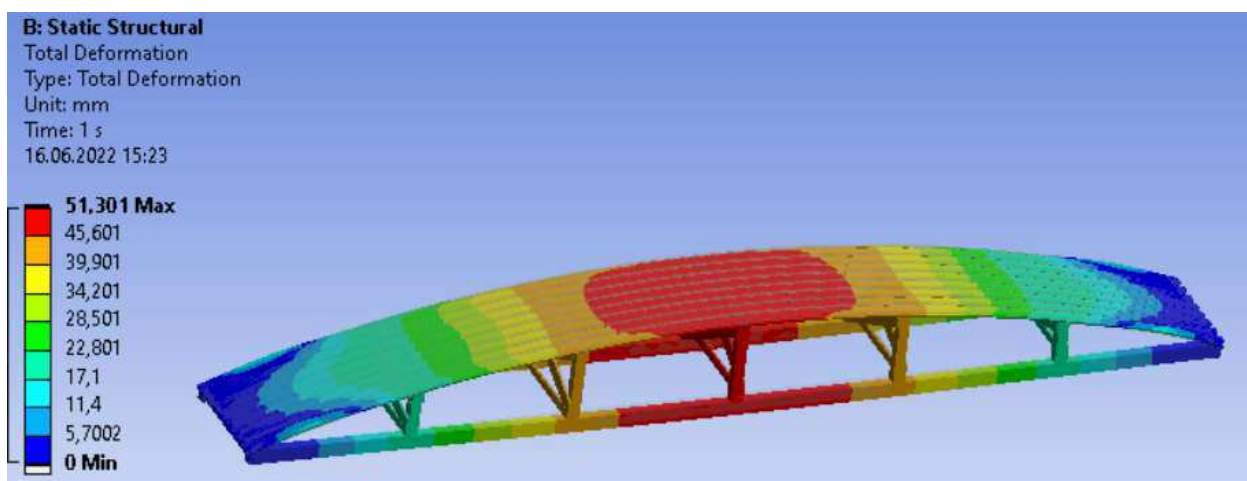


Рисунок 3.12 – Результаты перемещений

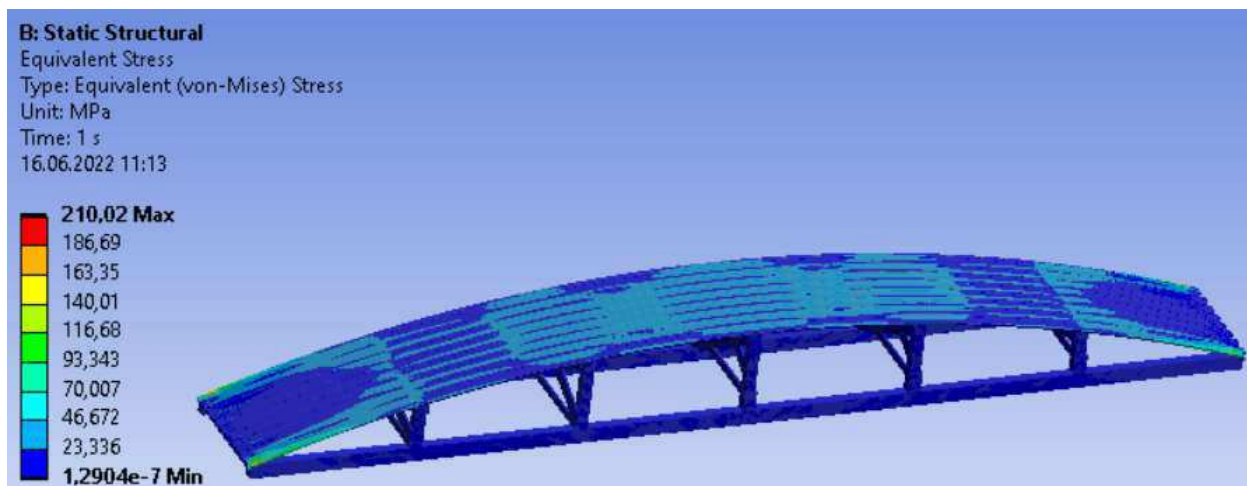


Рисунок 3.13 – Результаты напряжений

– Модель покрытия 6 м

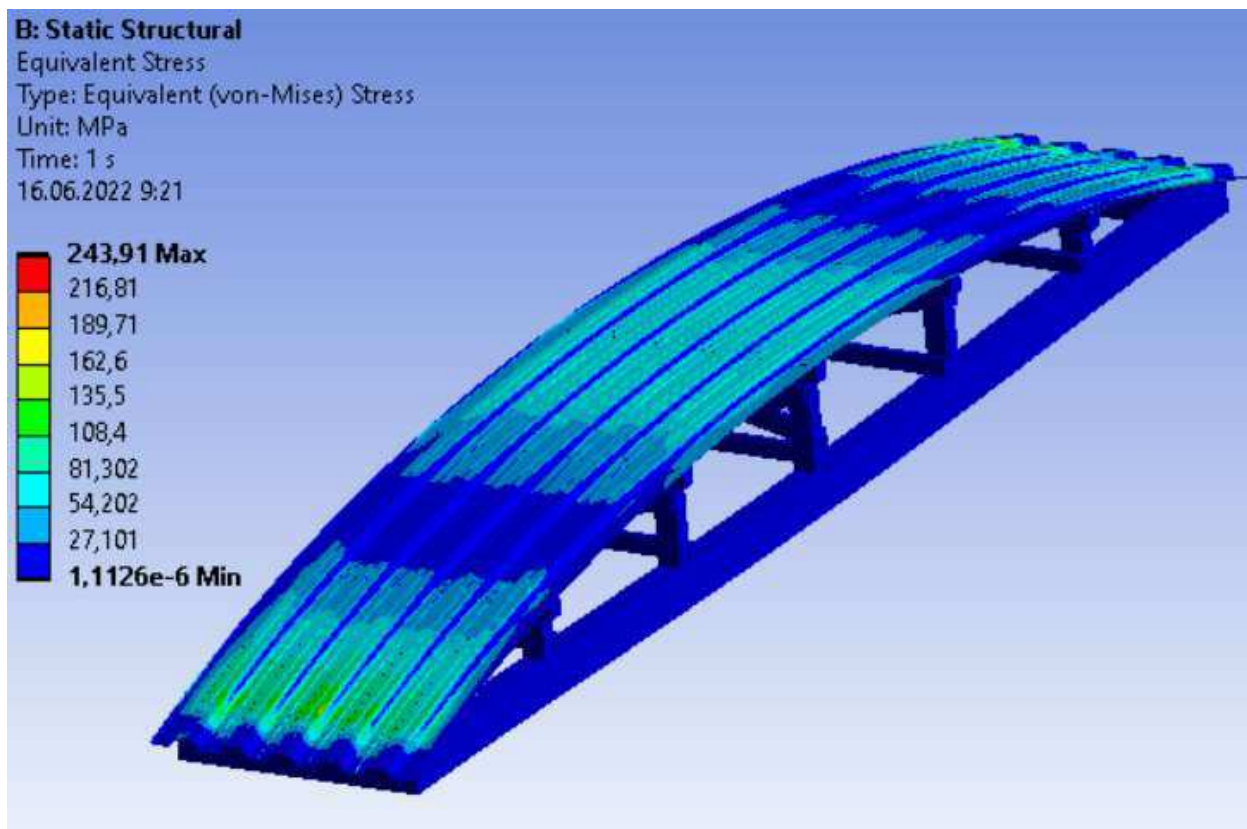


Рисунок 3.14 – Результаты напряжений

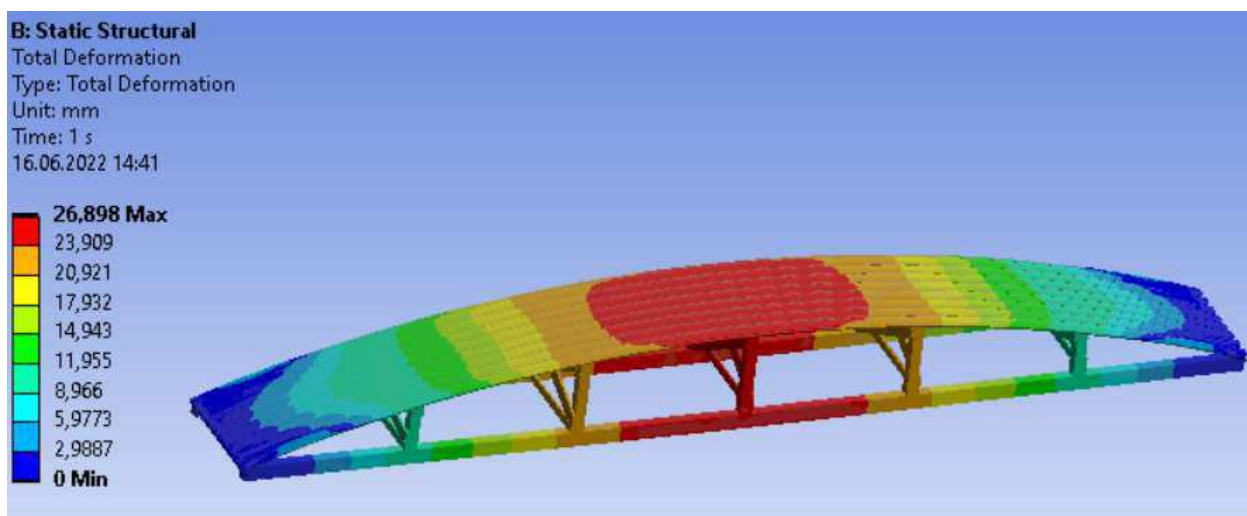


Рисунок 3.15 – Результаты перемещений

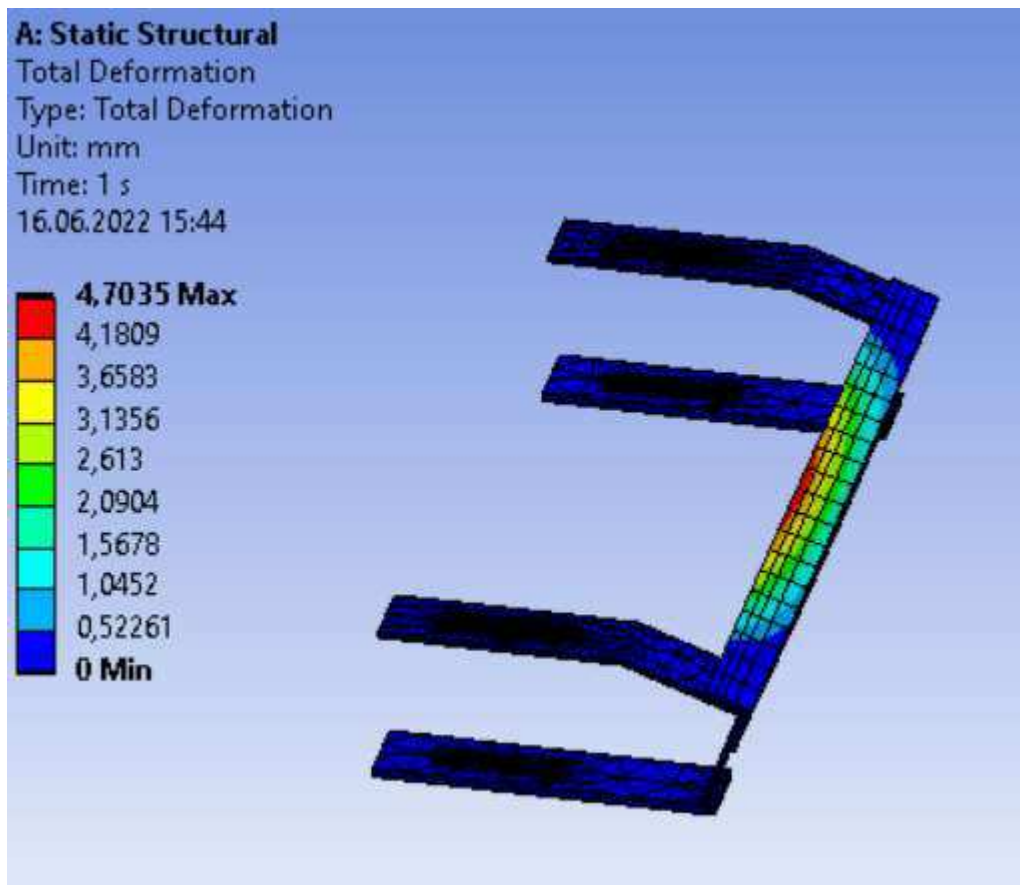


Рисунок 3.15 – Результаты перемещений в бортовом элементе

ГЛАВА 4 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БЛОКА ПОКРЫТИЯ

4.1 Цели и содержание испытания

Были поставлены следующие цели проведения испытаний уменьшенной модели пространственного блок-свода покрытия с торцевым уголковым элементом:

- установить взаимосвязь между численными расчетами и экспериментальными исследованиями на основании критерия подобия;
- выявить возможность использования принятого торцевого элемента для разработки несущих конструкций покрытия;
- определить перемещения характерных точек конструкции при статической распределенной нагрузке;
- изучить характер и особенности распределения нормальных напряжений в различных сечениях торцевых элементов;
- установить предельную несущую способность конструкции.

Определены задачи экспериментальных исследований модели блок-свода покрытия.

1. Изготовить модель конструкции для экспериментальных исследований, отработать технологию изготовления и проверить работоспособность конструкции;
2. Оценить влияние имеющихся конструктивных несовершенств на работу конструкции и разработать способы их устранения;
3. Определить перемещения характерных точек конструкции при статической равномерно распределенной нагрузке;
4. Изучить характер и особенности распределения нормальных напряжений

Было выполнено испытание блок-свода с двумя вариантами торцевого элемента (металлический уголок и деревянный брус).

Для оценки НДС модели в процессе испытания определяли:

- Линию прогибов торцевого элемента;
- Относительные деформации, а по ним напряжения в характерном сечении элементов модели.

Линия прогибов строилась на основании измерений прогибомеров Аистова ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм.

Схема расстановки приборов представлена на рисунке 4.1.

Модель испытывалась на действие нагрузки от собственного веса и веса снегового покрова.

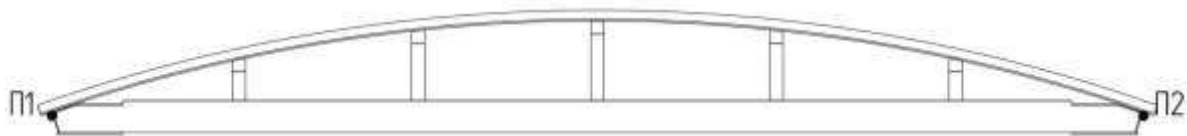
Нагружение создавалось штучным плитным материалом – бетонными блоками массой 38 кг. Блоки выкладывались в поперечном направлении самой конструкции, тем самым нагрузка распределялась полностью на несущий профилированный лист.

При проведении испытаний соблюдались следующие условия:

- Схема нагрузки оставалась неизменной вплоть до момента ее разрушения;
- Нагрузка прикладывалась одинаковыми ступенями в равные промежутки времени (1-2 мин);
- Испытательная модель выдерживалась после нагружения каждой ступенью нагрузки одинаковое время, превышающее время приложения ступени нагрузки (20 мин), для стабилизации деформаций и затухания всех локальных эффектов, после чего снимались показания всех измерительных приборов;
- При нагрузке, близкой к нормативной, испытательная модель выдерживалась в течение 25 минут ;

– При нагрузке, близкой к расчетной, испытательная модель выдерживалась в течение 25 минут;

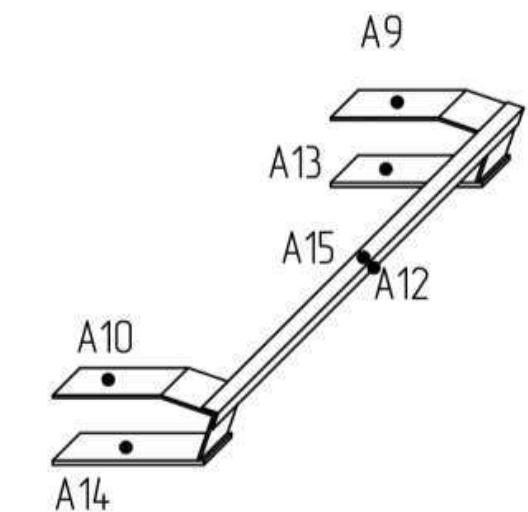
а)



б)



в)



а) расстановка прогибометров; б) расстановка прогибометров, профилированный лист условно не показан; в) расположение тензодатчиков на бортовом элементе и их наименование

Рисунок 4.1 – Схема расстановки приборов

На протяжении испытаний производилось наблюдение за состоянием испытательной модели и фиксировались все возникающие дефекты, первичные и вторичные деформации разрушения и другие повреждения.

Нагружение равносторонней нагрузкой на 1-ом этапе осуществлялось ступенчато со ступенью нагрузки, равной 33% от нормативной, то есть в 3 ступени. Снимались показания приборов. Далее происходило нагружение с возрастанием нагрузки до расчетной (2 этап) в 2 ступени. После достижения расчетного значения равносторонней нагрузки снимались показания приборов и происходило разгружение модели.

Измерение вертикальных перемещений производилось:

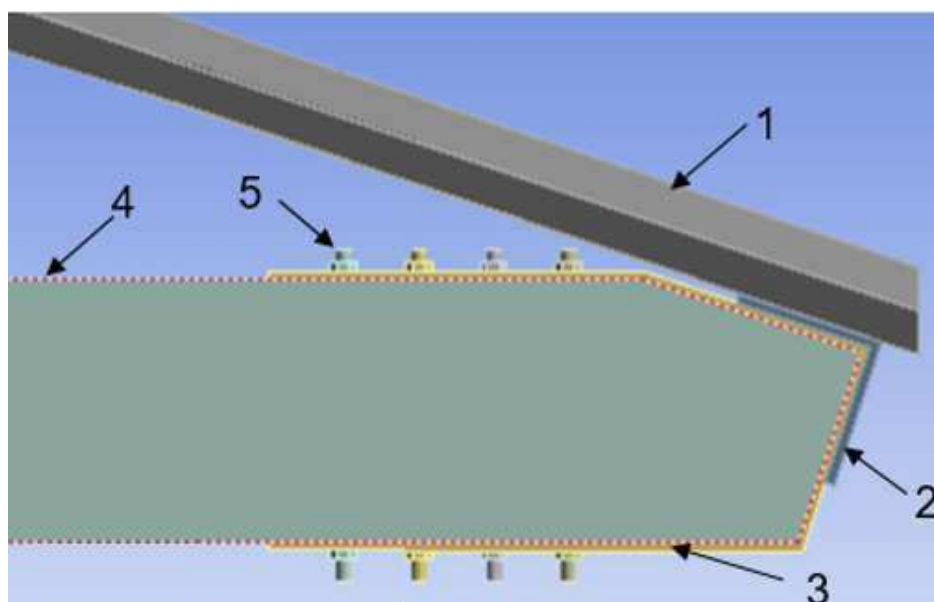
- Непосредственно перед началом каждого нагружения следующей ступени;
- Сразу после нагружения.

Продолжительность снятия отсчетов по прогибомерам составляла примерно 1 мин. Снятие показаний по тензорезисторам происходило непрерывно и автоматически. По окончании испытаний производилась обработка массива полученных данных изменений показаний тензорезисторов.

4.2 Методика эксперимента

Эксперименты проводились при следующих температурно-влажностных условиях окружающей среды: температура $t=20\pm 2$ °С, относительная влажность воздуха $W=65\pm 5$ %.

Узловое соединение представляет собой связь блок-свода, в котором нижний пояс выполнен из древесины прямоугольного сечения (4), и верхнего пояса в виде изогнутого несущего профилированного листа (1), и бортового элемента в виде уголкового проката (2), который крепится в торцевой части блока через металлическую накладку (3). Накладка к деревянному поясу крепится по средствам болтов (5), а уголок к накладке с помощью сварного соединения



1 – груный профилированный лист; 2 – бортовой элемент; 3 – соединительная пластина; 4 – балка-затяжка нижнего пояса; 5 – шпилька с гайками.

Рисунок 4.2 – Опорный узел

Для сравнения расчетных и экспериментальных данных был выполнен расчет модели блока пролетом 6 м.

С позиции строительной механики рассматриваемый блок покрытия классифицируется как пространственная стержневая система. Расчет ведется в программном комплексе ANSYS. Принимаем, что конструкция на торцах полностью опирается на обвязочный брус либо стены.

Для создания модели используется деревянный брус 170x90, профилированный лист HC35-1000 и металлический равнополочный уголок с размером полки 50 мм и толщиной 5 мм. Длина бруса 6 м, конструкция шириной модели 950 мм.

В опорной части балки затяжки соединяются бортовым элементом – уголком по средством сваривания уголка и металлической накладке на деревянном брус. В качестве стоек используются деревянные бруски и доски.

Для оценки НДС конструкции проводятся экспериментальные исследования модели блок-свода, в процессе которых определяют:

- линию прогибов нижнего пояса и торцевого элемента;

– относительные деформации, а по ним напряжения в сечениях элементов конструкции.

Модель блок-свода покрытия опиралась на обвязочный брус и закреплялась с одной стороны шарнирно-подвижной, а с другой стороны шарнирно-неподвижной связью. Таким образом, было обеспечено взвышенное положение модели: модель находилась на расстоянии 1,2 м от поверхности земли. Блок-свод был установлен на металлические трубы с обеих сторон, с одной стороны на трубу были наварены пластины, так было создано необходимое шарнирно-подвижное и шарнирно-неподвижное опирание.

Перемещения характерных точек конструкции измеряют прогибомерами Аистова ПАО-6 (Рисунок 4.3) и индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

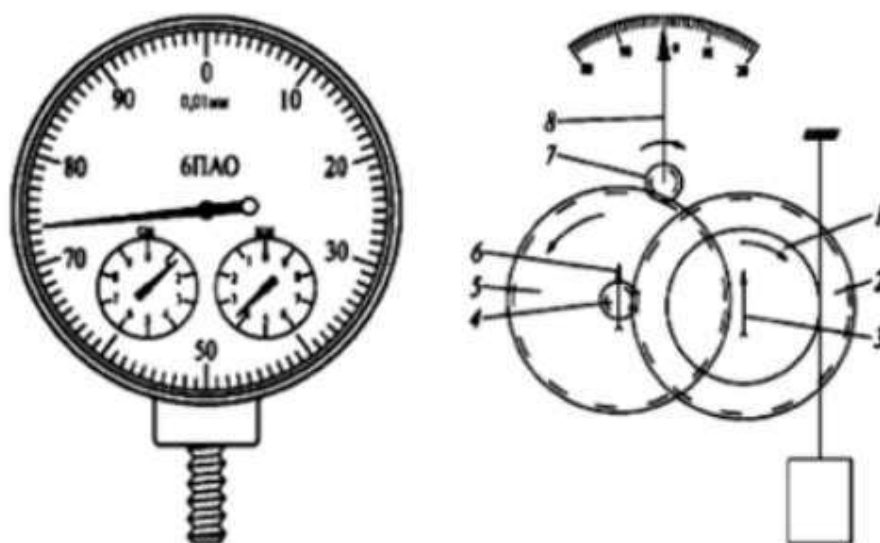


Рисунок 4.3 – Прогибомер 6-ПАО

- 1 – приводной шкив; 2 – большая шестерня (жестко соединена со шкивом и стрелкой 3 и входит в зацепление с зубьями трибки 4);
3, 6, 8 - стрелки прогибомера; 4 - трибка с зубьями;
5 - шестерня (соединена зубьями с трибкой 7); 7- трибка (на оси трибки расположена стрелка 8)

Прогибомеры в количестве 2 шт. были установлены на стулья в центре бортового элемента. Стальная проволока с грузом на конце была продета через бортовой элемент модели. Стальная проволока с грузом была зафиксирована так, чтобы проходить через прогибомеры.

Относительные деформации в элементах конструкции измеряются тензорезисторными датчиками с использованием цифрового измерителя деформаций ИДЦ-1 в комплекте с коммутирующим устройством. Номинальное сопротивление тензорезисторов $R=10$ Ом с размером базы 20мм.

Тензорезисторы в количестве 6 шт. были расположены согласно рисунку 4.4.

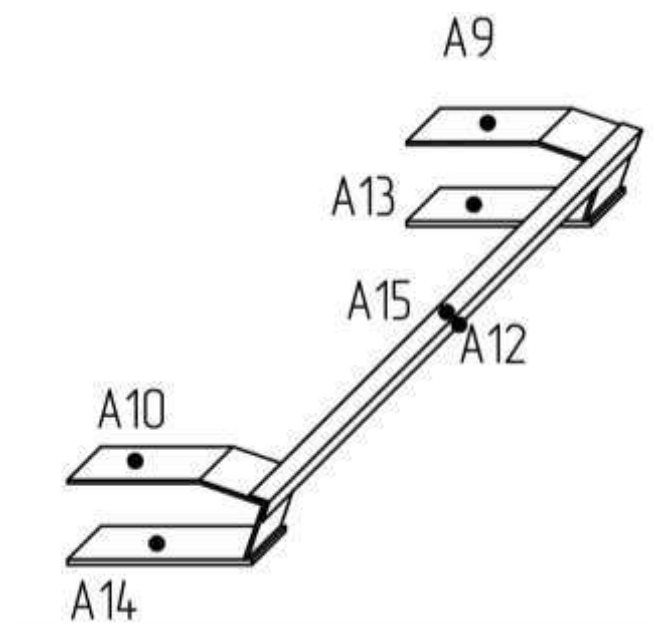


Рисунок 4.4 – Схема расстановки тензодатчиков

Кабель с проводами, припаянными к тензорезисторам, во время испытаний находился в подвешенном состоянии во избежание заземления и появления помех при измерении показаний тензорезисторов. Заземление было создано специально при помощи металлического штыря, подвешенного к кабелю за проволоку и находящегося на земле.

Блоки испытываются на действие равномерно распределенной нагрузки. При определении НДС бортового элемента с накладками величины нормальных напряжений в металлических элементах вычисляются из средних значений показаний тензорезисторов.

В процессе испытаний особое внимание уделяется фактам появления признаков потери местной устойчивости опор конструкции и профилированного листа. После каждой ступени нагружения осуществляется осмотр данной конструкции.

В таблице 4.2 представлена нагрузка, кг, необходимая для нагружения модели каждой ступенью с использованием бетонных блоков средней массой 38 кг и глиняных кирпичей массой 3,3 кг.

На рисунке 4.5 указана схема загрузки модели.

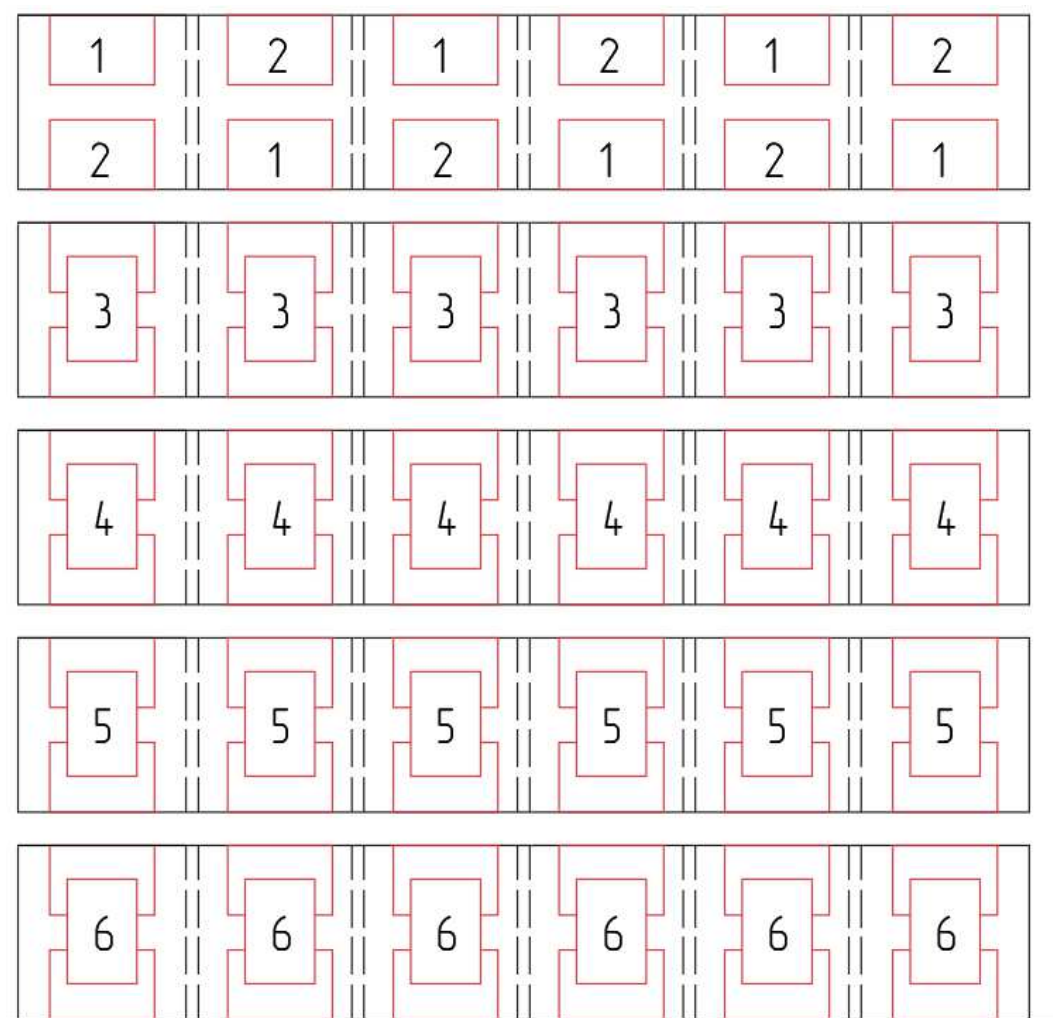


Рисунок 4.5 – Схема загрузки испытываемой модели

Таблица 4.2 – Расчет нагрузки, необходимой для ступенчатого нагружения модели

| № этапа | Тип нагружения | Наименование этапа нагружения | Значение нагрузки, необходимой для нагружения, кг/м ² | Загружаемая площадь, м ² | Необходимое количество блоков на всю модель при m блока=38 кг |
|---------|---------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 | Равномерно распределенная | 30% $q_{норм}$ | 38 | 1 | 6 |
| | | 60% $q_{норм}$ | 72 | | 12 |
| | | 100% $q_{норм}$ | 120 | | 18 |
| 2 | Равномерно распределенная | $q_{норм} + 50\% \cdot (q_{расч} - q_{норм})$ | 158 | | 24 |
| | | $q_{расч}$ | 190 | | 30 |

4.3 Нагружение модели блок-свода покрытия



Рисунок 4.6 – Испытуемая модель блок-свода;



Рисунок 4.7 – Модель блок-свода с подключенными тензорезисторами;



Рисунок 4.8 – Показание прогибомера перед началом испытания;



Рисунок 4.9 – 1 этап нагружения (38 кг/м^2);

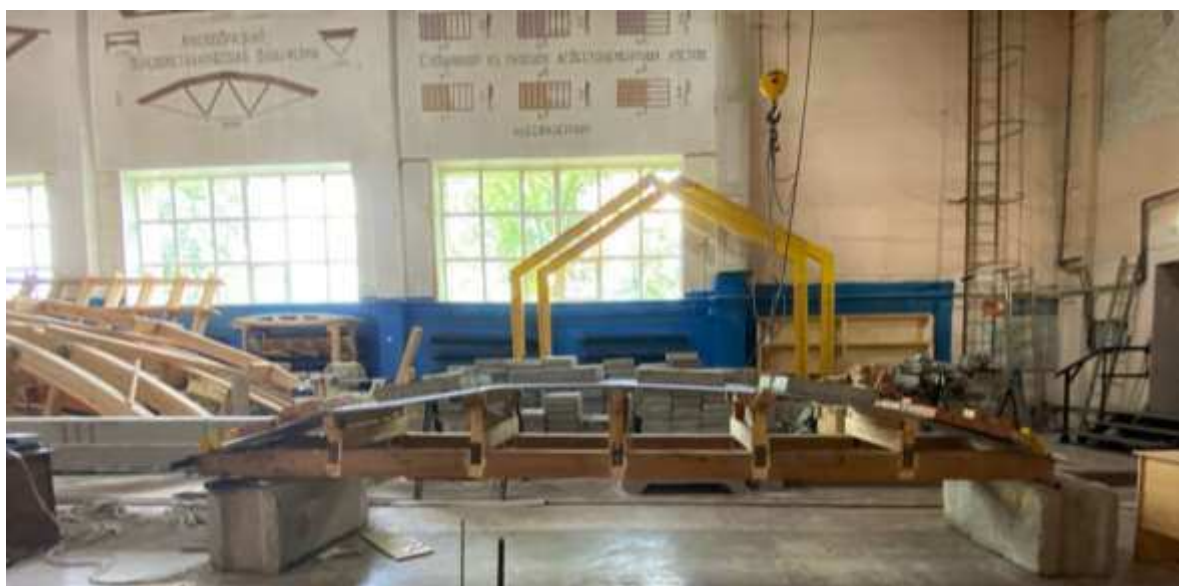


Рисунок 4.10 – 2 этап нагружения (76 кг/м^2);



Рисунок 4.11 – Показания прогибомера после 2 этапа загрузки;



Рисунок 4.12 – 3 этап нагружения (114 кг/м^2);



Рисунок 4.13 – 4 этап нагружения (152 кг/м^2);



Рисунок 4.14 – 4 этап нагружения (152 кг/м^2);



Рисунок 4.15 – Показания прогибомера после 4 этапа загрузки;



Рисунок 4.15 – 5 этап нагружения (190 кг/м^2);



Рисунок 4.16 – Деформации возникшие в конструкции;



Рисунок 4.17 – Показания прогибомера после 5 этапа загрузки;



Рисунок 4.18 – Деформации возникшие в профилированном листе;

4.4 Результаты испытаний

Испытания проходили 06.06.2022 г. в лабораторном корпусе СФУ.

Показания прогибомеров не доводилось до положения нуля, относительные прогибы вычислялись разностью начального и конечного показаний прибора.

По показаниям тензорезисторов вычислялись относительные изменения напряжений посредством разности начального и конечного значений.

Показания прогибомера изменились со значения 7,18 мм до 11,51 мм, прогиб бортового элемента составил 4,33мм.

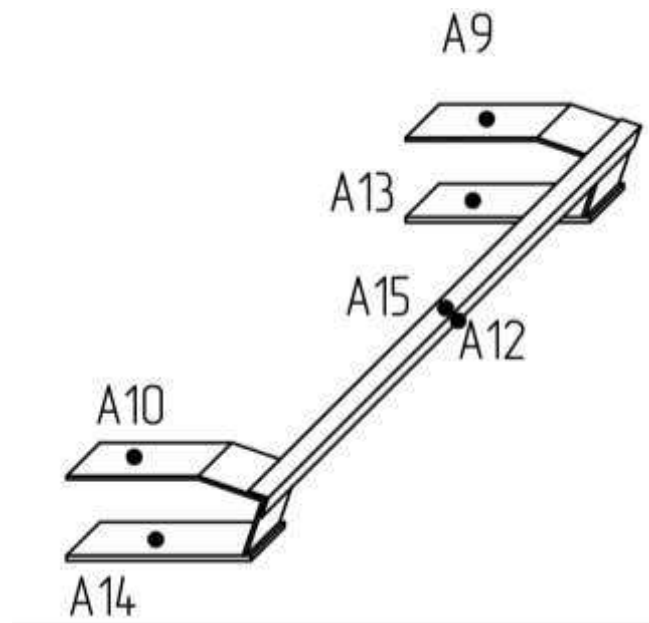


Рисунок 4.19 – Схема расстановки тензодатчиков;

По показаниям тензорезисторов максимальные напряжения возникали в резисторе А 15, значения напряжений в этой точке равнялось $23,21 \text{ кгс/мм}^2$, что в свою очередь равняется $232,1 \text{ МПа}$.

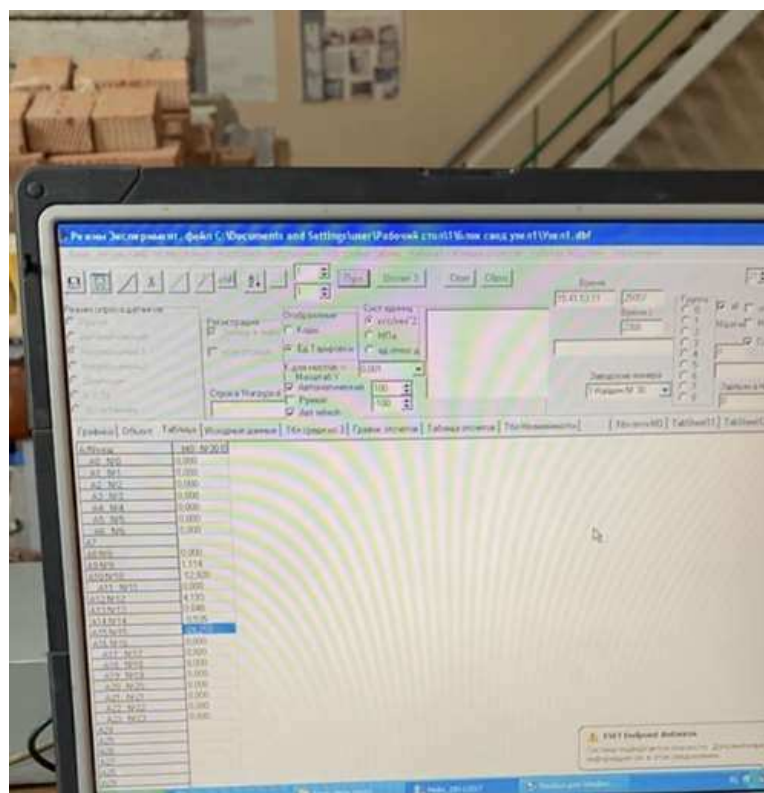


Рисунок 4.20 – Показания тензорезисторов;

4.4 Анализ полученных данных

Анализируя полученные результаты численных исследований и результаты натурного испытания модели можно сделать вывод о том, что при нагрузках больших, чем проектные, профилированный лист свода теряет местную устойчивость в зоне его крепления с балкой-затяжкой на опоре.

Сопоставим результаты численного расчета с результатами эксперимента полученные данные указаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Анализ результатов

| Наименование показателя | Результат численного эксперимента | Результат испытания | Разница результатов, % |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|
| σ (A9), МПа | 12,06 | 11,14 | 8 |
| σ (A10), МПа | 13,89 | 12,92 | 7 |
| σ (A12), МПа | 46,69 | 41,93 | 10 |
| σ (A13), МПа | 8,75 | 8,48 | 3 |
| σ (A14), МПа | 5,92 | 5,35 | 9 |
| σ (A15), МПа | 235,04 | 232,10 | 2 |
| f норм, мм | 4,7035 | 4,33 | 8 |

4.5 Выводы по 4 главе

В ходе испытания модели было выявлено, что при нагружении модели расчетной нагрузкой в профилированном листе возникают деформации и профилированный лист теряет местную устойчивость. Разницу результатов численного и натурального испытания можно отнести к погрешностям сборки испытательной модели и погрешности измерительных приборов.

Жесткость испытательной модели по сравнению с расчетной схемой в ПК Ansys оказалось незначительно ниже (вероятно, расхождение значений возникло из-за погрешности в сборке конструкции).

Сходимость численных и экспериментальных данных удовлетворительная, максимальный процент расхождения равен – 10% .

Заключение

В ходе данной магистерской диссертационной работы было проведено исследование принципиально нового варианта опорного узлового соединения комбинированного блок-свода покрытия с бортовым элементом в виде металлического уголка. Проведено численное моделирование исследуемой конструкции с использованием программного комплекса ANSYS. Для подтверждения результатов была создана уменьшенная модель в программном комплексе с абсолютно такими же материалами, сетками и вариантами контактов в местах соприкосновения материалов.

После численного расчета уменьшенной модели была собрана и испытана модель покрытия. На основании проведенных испытаний можно сделать вывод, что исследуемая конструкция работоспособна и выдерживает расчетные нагрузки. При относительно небольшом весе блок покрытия обладает минимальной материалоемкостью и, соответственно, является более экономичной в сравнении с аналогами.

Необходимо в дальнейшем произвести теоретическое и экспериментальное исследование с целью выявления закономерностей в НДС блок-свода в зависимости от различных вариантов соединений опорных узлов конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Формообразование строительных конструкций // Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, И.С. Инжутов, С.В. Деордиев, В.И. Палагушкин.

1. Соловьев, А.К. Основы архитектуры и строительных конструкций. М.: Юрайт, 2014. 458 с.

2. Арленинов Д.К. Конструкции из дерева и пластмасс. / Д.К. Арленинов, Ю.Н. Буслаев, В.П. Игнатъев и др. - М.: АСВ, 2002. - 280 с.

3. Вдовин В.М. Конструкции из дерева и пластмасс. Проектирование деревянных ферм / В.М. Вдовин // Учеб. Пособие. – Москва: Изд. Юрайт, 2017 – 141 с.

4. Орлов А.О. Совершенствование узловых соединений элементов деревянных конструкций: Дисс. на соискание степени канд. техн. наук: 05.21.05. – Архангельск, 2019.– 137 с.

5. Бирюлев В.В. Пространственный блок покрытия с верхним поясом из стальных профилированных листов / В.В. Бирюлев, И.И. Крылов, В.И. Почка, Н.В. Евдокимов // Промышленное строительство. – 1988. - №1. – С. .

6. Почка В.И. Пространственные блоки покрытия с верхним поясом из стальных профилированных листов: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 1998.

7. Трофимов В.И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений / В.И. Трофимов, А.М. Каминский. - М.: Наука, 1997 – 591 с.

8. Григорьев С.В. Линзообразные блоки покрытия из металлического профилированного листа: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 1995. – 226 с.

9. Енджиевский Л.В. Пространственные конструкции на основе профилированного листа / Л.В. Енджиевский, С.В. Григорьев, В.П. Григорьев // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1996. - №11.

10. Давыдов Е.Ю. Предварительно напряженные своды из профилированного настила. Новые формы легких металлических конструкций / Е.Ю. Давыдов, Т.А. Андрушевич // Под ред. В.И. Трофимова. - М.: Изд. «Знания», 1993.

11. Дмитриев П.П. Комплексные конструкции на основе древесины с профилированными обшивками: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.01 – Новосибирск, 1995. – 227 с.

12. Волик А.Р. Конструкции из дерева и пластмасс / В.М. Вдовин // Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / Сост. и общ. ред. А.Р. Волик. – Новополюк: ПГУ, 2005. – 300 с.

13. Колесникова М.А. Комбинированные пологие блок-своды из профилированных листов, подкрепленных деревянными балками-затяжками: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.01 – Красноярск, 2004. – 150 с.

14. Чебровский А.А. Совершенствование методики расчета стальных балок, предварительно напряженных вытяжкой стенки: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.01 – Красноярск, 2015. – 232 с.

15. Кравчук В.А. Стальные сжато-изогнутые стержни, предварительно напряженные без затяжек : монография / В. А. Кравчук. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. - 278 с.

16. Вахуркин В. М. Предварительно напряженные стальные конструкции //Материалы по стальным конструкциям. Проектстальконструкция, М.: Вып. 2, 1958.

17. Вахуркин В. М. Предварительно напряженные стальные конструкции (область применения и направления развития)// Металлические конструкции: Сб.научн.трудов, ЛИСИ 1962. №43.

18. Формообразование строительных конструкций // Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, И.С. Инжутов, С.В. Деордиев, В.И. Палагушкин.

19. ГОСТ 24045-2016 Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия - М.: Изд-во стандартов, 1995.
20. Тамплон Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции (для зданий возводимых в суровых климатических условиях) / Ф.Ф. Тамплон. - Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1988, - 248 с.
21. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия, актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – Введ. 04.06.2017. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 104 с.
22. СТО 36554501-015-2008 Нагрузки и воздействия. – Введ. 15.01.2009. – Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008. – 64 с.
23. Шмелев Г.Н. Компьютерные методы проектирования и расчета зданий / Г.Н.Шмелев, В.Н.Сластникова и др. – Казань, 2012. - 280 с.
24. Барабаш М.С., Гензерский Ю.В., Марченко Д.В., Титок В.П. Лира 9.2. Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. – К.: издательство «ФАКТ», 2005. – 106 с.
25. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. Киев: Издательство «Факт», 2005. – 344 с.
26. Карпиловский В.С. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD ++. Справочник: Издательство «СКАД СОФТ», 2005. – 848 с.
27. Симбиркин В.Н., Курнавина С.О. Статический и динамический расчет железобетонных монолитных каркасов зданий с помощью программного комплекса STARK_ES. Учебное пособие./ Под ред. Назарова Ю.П. – Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство», ООО «Еврософт», 2007. – 158 с
28. Замрий А. Практический учебный курс. CAD/CAE система ARM WinMachine: Издательство «АПМ», 2008. – 144 с.
29. Денисов М. А. Компьютерное проектирование ANSYS : учеб. пособие / М. А. Денисов. Екатеринбург : УрФУ, 2014. 80 с.

30. Денисов М. А. Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование : учеб. пособие / М. А. Денисов. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 149 с.
31. СП 20.13330.2017 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Введ. 20.05.2017. – М.:ОАОЦПП, 2017 – 90 с.
32. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 11-25-80. – Введ. 28.08.2017. – Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2017.
33. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 11-23-81*. – Введ. 28.08.2017. – Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2017.
34. ГОСТ 24045-2016 Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия - М.: Изд-во стандартов, 2016.
35. Инжутов И.С. Блок-фермы на основе древесины для покрытий зданий: системный подход к созданию, теория практического расчета, работа при статических воздействиях: Дисс. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 1995. – 193 с.
36. Пуртов В.В. Легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на стальных пластинах и дюбелях: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 1988.
37. Патент РФ на изобретение №2191871 «Устройство для соединения листовых элементов между собой (варианты)».
38. Ренский А.Б. Тензометрирование строительных конструкций и материалов / А.Б. Ренский, Д.С. Баранов, Р.А. Макаров // – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.
39. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / Под ред. Ю.М. Иванова // ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1981. – 40 с.

40. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦННИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1976.

41. Дмитриев П.П. Работа на сдвиг креплений стального профнастила к элементам деревянных конструкций / П.П. Дмитриев // Промышленное строительство № 9-10, 1992.

42. Дукарский Ю.М. Ограждающие конструкции из профилированных листов / Ю.М. Дукарский, Ю.К. Тринчер. – М.: Энергия, 1974.

43. Слицкоухов Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс / Ю.В. Слицкоухов, В.Д. Бурданов и др. // Учеб. для вузов – 5-ое изд., перераб. доп. М.: Стройиздат, 1986. – 533 с.

45. Михайлов Г.Г. О статической работе большепролётных блоков покрытия с предварительно напряжённой обшивкой текст. / Михайлов Г.Г., Микулин В.Б., Красненкова Л.В. Строительная механика и расчёт сооружений, 1979, №4, с. 51-52

46. Основы научных исследований: пособие для студентов технических специальностей / Г. М. Кузёмкина. – Гомель: УО «БелГТУ», 2005.– 82 с.

47. Мастаченко В.Н. Испытание строительных конструкций на моделях. Раздел «Теория и надёжность моделей» мет. разр. / В. Н. Мастаченко. – Москва: Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени институт инженеров железнодорожного транспорта МПС СССР, 1972.

48. СТО 36554501-015-2008 Нагрузки и воздействия. – Введ. 15.01.2009. – Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008. – 64 с.

49. ГОСТ 19521-74 Сварка металлов. Классификация.

50. ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.

51. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменением N 1)

52. Ограждающие и несущие строительные конструкции из стальных тонкостенных профилей //Л.В. Енджиевский, И.И. Крылов, А.Н. Кретинин, А.В. Терешкова;

53. Формообразование строительных конструкций // Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, И.С. Инжутов, С.В. Деордиев, В.И. Палагушкин.

55. Гринь И.М. Строительные конструкции из дерева и строительных материалов. Проектирование и расчет. Киев, 1975. - 297 с.

56. Инжутов И.С. Блок-фермы на основе древесины для покрытий зданий: автореферат диссертации доктора технических наук / И.С. Инжутов. - Новосибирск, 1995 - 38 с.

57. Инжутов И.С. Конструкции из дерева и пластмасс / И.С. Инжутов, В.И. Жаданов, И.П. Пинайкин // - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. - 292 с.

58. Ишмаева Д.С. Жёсткие узловые соединения на клеенных стальных шайбах в балочных структурах из клеёных деревянных элементов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пенза, 2014. - 171 с.

59. Калугин А.В. Деревянные конструкции. Учебн. пособие (конспект лекций) / Калугин А.В. - М. Издательство АСВ, 2003. - 224 с.

60. Платонов А.Д. Исследование прочности древесины при длительной постоянной нагрузке / Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов, Н.М. Федоткин, И.С. Фокина // Лесотехнический журнал - 2012. - №2. - с. 7-10.

61. Сюй Юнь. Повышение несущей способности соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках с использованием металлической зубчатой пластины: диссертация кандидата технических наук: 05.23.01/Сюй Юнь; - Санкт-Петербург, 2015. - 198 с.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Строительные конструкции и управляемые системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
С. В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия
« 22 » 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Совершенствование узловых соединений в опорном стыке
комбинированного блок-свода
Тема

08.04.01 Строительство
код и наименование направления

08.04.03.01 Теория и проектирование зданий и сооружений
код и направление магистерской программы

Научный руководитель

16.06.22
подпись, дата

доцент кафедры канд.техн.наук
должность, ученая степень

М. А. Плясунова
инициалы, фамилия

Выпускник

16.06.2022
подпись, дата

412048074

К. Е. Сивцова
инициалы, фамилия

Рецензент

21.06.2022
подпись, дата

должность, ученая степень

А. Н. Винник
инициалы, фамилия

Красноярск 2022