

**Приложение титульного листа дипломной работы по теме
Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на
примере конструкции туннельного типа**

Консультанты по
разделам:

<u>Разработка архитектурных решений</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Разработка конструктивного решения и разработка узлов</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции тоннельного типа</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции. ТЭП</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

<u>Экономическое обоснование</u> наименование раздела	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

Нормоконтролер	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия

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

« ____ » _____ 2023 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме _____ дипломной работы _____

Красноярск 2023

Студентам Тимофееву Алексею Сергеевичу, Ковалю Тарасу Евгеньевичу

фамилия, имя, отчество

Группа СС17-12 Направление (специальность) 08.05.01

номер

код

«Строительство уникальных зданий и сооружений»

полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР М.А. Плясунова, к.т.н., доцент каф. СКиУС

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР в виде работы

Задание по разделам ВКР в виде работы

Пояснительная записка

Графический материал с указанием основных чертежей

**КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР в виде работы**

Наименование раздела	Срок выполнения
Разработка архитектурных решений	01.10.2022 - 07.10.2022
Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов	10.10.2022 - 10.11.2022
Разработка конструктивного решения и разработка узлов	10.11.2022 - 21.11.2022
Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира	21.11.2022 - 10.02.2023
Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции тоннельного типа	10.02.2023 - 03.03.2023
Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований	03.03.2023 - 01.04.2023
Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции, ТЭП	01.04.2023 - 15.04.2023
Экономическое обоснование	15.04.2023 - 05.05.2023

Руководитель ВКР

(подпись)

Задание принял к исполнению

(подпись, инициалы и фамилия студента)

(подпись, инициалы и фамилия студента)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Коваль Тарас Евгеньевич
 Проверяющий: Захаров Павел Алексеевич
 Организация: Сибирский федеральный университет
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://s.TIKRAZ.aNTIPLAGIAT.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 270570
 Начало загрузки: 18.06.2023 17:27:23
 Длительность загрузки: 00:01:37
 Имя исходного файла: cПр1от_2.pdf
 Название документа:
 Размер текста: 97 кБ
 Тип документа: Выпускная квалификационная работа
 Символов в тексте: 99789
 Слов в тексте: 11344
 Число предложений: 842

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 18.06.2023 17:29:01
 Длительность проверки: 00:01:37
 Комментарии: не указано
 Поиск с учетом редактирования: да
 Проверенные разделы: титульный лист с. 1, основная часть с. 2,5-109, содержание с. 3-4, библиография с. 110-111, приложение с. 112-127
 Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (РиЕп), Переводные заимствования по eЫВАРУ.Ри (ЕпРи), Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (ЕпРи), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования издательства WMeu, eЫВАРУ.Ри, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, iEEE, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НБУ, Перефразирования по eЫВАРУ.Ри, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (Еы), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирования по коллекции издательства WMeu, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Модуль поиска "Бгикгаз", Шаблонные фразы, Кольцо вузов, Издательство WMeu, Переводные заимствования



Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирования — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирования — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в тексте	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте	Комментарии
[01]	4,5%	4,5%	не указано	29 Сен 2022	Библиография	1	1	
[02]	4,08%	0,37%	НирзУ/еПб.зГи-КГАЗ.ги/ЫлзГreat/ИансЛ... ГТКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги	17 Янв 2023	Интернет Плюс*	9	52	
[03]	3,98%	1,43%	НТрз://еПб.зГи-КГАЗ.ги/ЫлзГreat/ИансЛ... ГТКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги	23 Янв 2023	Интернет Плюс*	19	63	
[04]	3,82%	0,21%	64 НКр://досте.ги	05 Мая 2017	Интернет Плюс*	4	61	
[05]	3,14%	0,29%	НЯрз://еПб.зГи-КГАЗ.ги/ЫлзГreat/ИансЛ... НЯрз://еПб.зГи-КГАЗ.ги	15 Фев 2023	Интернет Плюс*	4	27	
[06]	2,67%	0%	НКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги/ЫлзГreat/ИансЛ... НКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги	20 Янв 2023	Интернет Плюс*	0	27	
[07]	2,59%	0%	ИКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги/ЫлзГreat/ИансЛ... ГТКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги	03 Янв 2023	Интернет Плюс*	0	35	
[08]	2,39%	0%	НКр://isi.ги-КГАЗ.ги/sites/isi.in5tkige.ги... ГТКр://isi.ги-КГАЗ.ги	15 Янв 2020	Интернет Плюс*	0	33	
[09]	2,28%	0%	НКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги/ЫлзГreat/ИансЛ... ГТКр://еПб.зГи-КГАЗ.ги	17 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	22	

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа» содержит 112 страниц текстового документа, 125 иллюстраций, 26 таблиц, 2 приложения, 28 использованных источников, 15 листов графического материала.

СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, АРОЧНАЯ КОНСТРУКЦИЯ, ТУННЕЛЬНОЕ СООРУЖЕНИЕ, СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЙ КАРКАС, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.

Объект исследования: туннельное сооружение из стеклопластикового каркаса.

Задачи дипломной работы: исследование НДС туннельного сооружения из стеклопластиковой арматуры при эксплуатации в экстремальных климатических условиях; подбор оптимальных параметров конструкции и изучение особенностей полученного решения; создание расчетной модели в программном комплексе; сравнение нескольких вариантов расчетных схем; разработка и численные исследования НДС узлов конструкции; натурные испытания фрагмента конструкции туннельного типа; анализ полученных результатов и сравнение с численным расчетом; проведение экономической оценки.

В результате расчетов были определены оптимальные конструктивные и архитектурные решения, которые позволили добиться желаемого результата, были получены значения возникающих напряжений в натурной экспериментальной модели.

В ходе дипломного проекта были произведены:

- разработано архитектурное решение;
- разработана и подобрана наиболее эффективная расчетная схема;
- разработаны конструктивные решения и узлы;
- проведены численные исследования НДС узлов конструкции;
- расчеты НДС туннельного сооружения в программном комплексе;
- проведены натурные испытания фрагмента покрытия конструкции туннельного типа;
- обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований;
- разработаны мероприятия по монтажу.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Разработка архитектурных решений	7
1.1 Общие данные	7
1.1.1 Исходные данные и условия для подготовки проектной документации на объект капитального строительства	7
1.1.2 Сведения о функциональном назначении объекта капитального строительства	7
1.1.3 Техничко- экономические показатели проектируемого объекта капитального строительства	8
1.2 Схема планировочной организации земельного участка	8
1.2.1 Характеристика земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства	8
1.3 Архитектурные решения	9
1.3.1 Описание и обоснование внешнего и внутреннего вида объекта капитального строительства, его пространственной и функциональной организации	9
2. Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов	11
2.1 Выбор расчетной схемы конструкции	11
2.1.1 Арка с разбивкой на 10 секций	11
2.1.2. Арка с разбивкой на 5 секций	25
2.1.3 Арка с разбивкой на 4 секций	36
2.1.4. Стрельчатая арка	46
2.2 Сравнение форм арок	49
3 Расчет узла опирания арки	51
3.1 Исходные данные в приопорных стержнях	51
3.2 Расчет узла	54
3.3 Подбор размеров боковых граней башмака	56
3.4 Определение размеров опорной плиты башмака	57
3.5 Определение размеров проушин	58
3.6 Определение диаметра шарнирного болта	58
3.7 Сварные швы	59

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ			
Изм.	Лист	№ ДОКУМ.	Подпись	Дата	Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции тиннельного типа	Стадия	Лист	Листов
Разраб		Коваль Т. Е.						
Разраб		Тимофеев А.С.						
Проверил		Плясунова М.А.						
Н. Контр		Плясунова М.А.						
Зав. кафедры		Деордиев С.В.				СКИУС		

3.8 Сравнительный анализ полученных данных ручного счета и расчета в ПК Лира СОФТ	62
4 Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира	66
5 Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции туннельного типа	79
5.1 Цель экспериментального исследования	79
5.2 Решение поставленной задачи	80
5.3 Создание экспериментальной модели	81
5.4 Методика и проведение эксперимента	90
6. Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований	97
7. Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции	102
8. Экономическое обоснование, ТЭП	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А	113
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	116

ВВЕДЕНИЕ

Для задания на данный дипломный проект было выбрано научное исследование НДС в арочной конструкции из стеклопластика на примере автомобильного туннеля в условиях северных широт. Проектируемый туннель имеет габаритные размеры в осях 12 x 100 м, имеет форму круговой арки.

Развитию транспортной инфраструктуры в северных регионах часто препятствуют суровые погодные условия, особенно в зимние месяцы. Снежные заносы, обледенение и сильный ветер могут нарушить функционирование автомобильных дорог, что приводит к значительным экономическим потерям и создает угрозу для жизни людей. Потребность в надежном и эффективном решении для защиты автомобильных дорог побудила к рассмотрению и анализу возможность использования специальных туннельных конструкций.

В последние годы растет спрос на более устойчивые и экономичные решения при строительстве высокопроизводительных прозрачных туннельных конструкций. Одним из таких решений является использование материалов из армированного стекловолокном пластика.

При проектировании туннельной конструкции должны учитываться различные факторы, такие как местный климат, геометрические параметры дорожного участка, а также тип эксплуатируемых транспортных средств. Для обеспечения стабильности и долговечности стеклопластик должен быть спроектирован и смонтирован в соответствии с установленными техническими стандартами.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка включает в себя проектную разработку, в которой рассматриваются следующие разделы:

1. Разработка архитектурных решений;
2. Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов;
3. Разработка конструктивного решения и разработка узлов;
4. Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира;
5. Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции туннельного типа;
6. Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований;
7. Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции, ТЭП;
8. Экономическое обоснование.

Объем текстовой части составляет 111 страниц, объем графической части составляет 10 листов формата А1. Текстовая часть выполнена с использованием программных комплексов МШГовой \Тж1 2016, Мюговой Excel 2016. Расчет конструкции сооружения выполнен в ПК Лира СОФТ. Графическая часть проекта

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	ПаТа		5

выполнена в системах проектирования и черчения AutoCAD 2021,
Key 2021.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата		6

1 Разработка архитектурных решений

1.1 Общие данные

1.1.1 Исходные данные и условия для подготовки проектной документации на объект капитального строительства

Архитектурные решения проекта выполнены на основании действующих норм на проектирование.

Проектирование выполняется на новое строительство сооружения автомобильного туннеля в условиях Крайнего севера.

Вид строительства - новое.

Цель проектирования: строительство туннельного сооружения для обеспечения защиты автомобильных магистралей в суровых условиях Севера с применением в качестве несущей конструкции стеклопластиковых профилей.

Важное значение проектируемого дорожного сооружения имеет пожарная безопасность. Стеклопластик при пожаре не имеет свойства лавинообразно терять прочность, в отличие от легких металлоконструкции с практическим пределом огнестойкости 0 [1]. Вероятнее всего, в условиях пожара разрушение укрытия будет происходить течение некоторого временного интервала. При этом легкие стеклопластиковые опоры не будут разрушаться, оставаясь на своих местах, а при полном выгорании они не обрушатся, разогнутся и будут находиться в вертикальном положении, не создавая тем самым угроз.

Для анализа использования конструкций из стеклопластика разрабатывается проект дорожного туннеля с учетом территориальных особенностей и внешних силовых факторов. Проводятся численные и экспериментальные исследования дорожной оболочки (ее конструктивные фрагменты) для дальнейшего практического внедрения в строительство дорожных укрытий в суровых арктических условиях.

1.1.2 Сведения о функциональном назначении объекта капитального строительства

Функциональное назначение сооружения - линейный объект;

Основное назначение - автотранспортный туннель;

Уровень ответственности объекта - нормальный;

Коэффициент надежности по ответственности - 1,0;

Степень огнестойкости - III;

Класс функциональной пожарной опасности - Ф 5.2;

Класс конструктивной пожарной опасности - КО.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	ПаТа		7

1.1.3 Техничко–экономические показатели проектируемого объекта капитального строительства

Таблица 1 - Техничко-экономические показатели проектируемого объекта капитального строительства

Наименование	Единица измерения	Показатель
Категория дороги	-	II
Строительная длина	м	100
Число полос движения	шт.	2
Ширина проезжей части	м	2x4,5
Ширина обочины	м	2x1,5
Высота сооружения	м	5,9
Тип дорожной одежды	-	Капитальный
Вид покрытия	-	ЩМА
Площадь застройки	м ²	1200

1.2 Схема планировочной организации земельного участка

1.2.1 Характеристика земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства

Земельный участок объекта капитального строительства расположен: Российская Федерация, Красноярский край, г. Норильск.

Климатический район строительства - 1Б;

Город расположен в пределах Крайнего Севера и отличается суровостью климата субарктического типа.

Холодный и долгий зимний период с январской температурой -40 градусов усугубляется очень сильными ветрами. Период с сильными холодами продолжается около 280 дней, начиная с середины сентября до начала мая, из них 130 дней сопровождаются метелями.

Снежный покров может лежать от 244 до 277 дней. Для города характерен продолжительный отопительный сезон, продолжающийся 302 дня.

Летний период начинается в конце июня и продолжается до конца августа. Лето обычно пасмурное и прохладное, с июльской температурой в среднем +13,6 градуса.

Средняя скорость ветра в течение года 6 м/с. Относительная влажность воздуха составляет 76%. В Норильске осадков за год выпадает около 400 мм и большая их часть в июле-октябре, но, поскольку испаряемость низкая, то увлажнение избыточное.

Преобладающее направление ветра - юго-восточное.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	ПаТа		8

Расчетная температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,98 составляет минус 47 °С, с обеспеченностью 0,92 - минус 47 °С [2].

Средняя температура воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98 составляет минус 52 °С.

Снеговой район V, нормативное значение веса снегового покрова $S_{\sigma} = 2,5$ кПа.

Ветровой район III, нормативное значение ветрового давления 0,38 кПа.

Сейсмичность района строительства - 5 баллов.

1.3 Архитектурные решения

1.3.1 Описание и обоснование внешнего и внутреннего вида объекта капитального строительства, его пространственной и функциональной организации

Проектируемый объект представляет собой автотранспортный наземный туннель сводчатого очертания, используемый для передвижения транспортных средств в северных регионах. Ширина проезжей части дороги с двумя полосами движения встречного направления составляет 9 м, ширина обочин по 1,5 м.

Сооружение имеет прямоугольную в плане форму, габариты в осях составляют 12,0 x 100,0 м. Наибольшая высота конструкции принята 6 м.

Сооружение с несущим каркасом, выполненным из стеклопластиковых профилей прямоугольного сечения 180x200x8 мм с шагом 2 м, и специальным светопрозрачным покрытием - пленкой типа ЕТЕЕ. Основанием сооружения служат железобетонные столбики сечением 400x400 мм и высотой 1 м, которые, в свою очередь, опираются на фундамент в виде буроопускной сваи.

Стеклопластик представляет собой легкий и прочный материал, устойчивый к коррозии и ультрафиолетовым лучам. Это отличный теплоизолятор, отлично подходящий для использования в погодных условиях Северных широт. Кроме того, его гибкость и способность к формованию позволяют изготавливать сложные формы, что делает его идеальным для использования в строительстве туннелей.

Применение традиционных материалов несущих конструкций, таких как металл или дерево, является спорным, так как их использование в северных регионах имеет свои недостатки: как известно, пониженные температуры вызывают уменьшение пластичности металла, увеличивается величина предела текучести, и перегрузки вызывают резкий рост уровня максимальных напряжений, что приводит к опасности разрушения элемента металлоконструкции в местах концентрации напряжений [3]. Также в северных регионах характерно высокое содержание солей и влаги в воздухе, что может вызвать быстрое разрушение металлических конструкций из-за коррозии. При этом требуется использовать специальные металлы или покрытия для антикоррозионной защиты, что увеличивает стоимость и сложность строительства. Что касается древесины, то она

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
						9
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		

имеет твердую структуру и меньшее количество влаги, что делает ее менее гибкой и более склонной к трещинам и ломкости. Это может привести к снижению прочности и долговечности деревянных конструкций, что особенно опасно в условиях снегопада и сильных ветров.

Если сравнивать стеклопластиковую и металлическую конструкции, то по сравнению со сталью, композит превосходит достаточно большим модулем упругости, превышающий аналогичные характеристики изделий из металла примерно в 4 раза. Еще одним фактором будет прочностной потенциал удельной прочности в 10 раз превышающий стальные элементы.

Кроме того, стеклопластик обладает значительными преимуществами по сравнению с древесиной. В отличие от дерева, профиль из стекловолокна не деформируется, не гниёт и не распадается от воздействия влаги. Устойчив к воздействию насекомых, плесени и грибка. Не нуждается в обработке специальными покрытиями [4].

Следует также учитывать, что не все типы покрытия пригодны для использования в рассматриваемых условиях. Так, широко используемый в строительстве профлист, в качестве покрытия не будет обладать достаточными для нормального функционирования свойствами. В холодных условиях на поверхности профлиста может скапливаться конденсат, особенно при эксплуатации конструкции на транспортной магистрали. Еще одним недостатком является сложность монтажа в условиях сильных морозов, что приводит к увеличению стоимости, времени установки и снижению качества монтажных процессов.

Пленкой типа ЕТРЕ представляет собой термопластичную пленку, которая обладает превосходной устойчивостью к экстремальным температурам, химическим веществам и ультрафиолетовым лучам. Она также устойчива к разрывам и проколам, что является большим преимуществом. Кроме того, её высокая прозрачность позволяет проникать естественному свету, уменьшая потребность в искусственном освещении и приводя к экономии энергии, её высокая механическая прочность и гибкость делают материал пригодным для использования в проектах строительства туннелей.

Также восприятие снеговой нагрузки на оболочку уменьшается за счет выгнутости конструкции. Чем больше угол опирания на опорную конструкцию (фундамент), тем меньше коэффициент, учитывающий величину снеговой нагрузки. Благодаря выбору оптимального угла наклона, специальной аэродинамической компоновке и упругости материала ЕТРЕ на поверхности оболочки не накапливаются большие объемы снега, льда или ливневых осадков, которые могут вызвать опасный локальный прогиб или разрушение мембранной и вспомогательной силовой конструкции.

Таким образом, применение традиционных материалов при строительстве туннелей во многом уступает рассматриваемым в дипломной работе.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закуп.	ПаЗпись	Пата		10

2. Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов

2.1 Выбор расчетной схемы конструкции

Для возможности проведения эксперимента необходимо выбрать расчетную схему конструкции, которая должна обладать следующими свойствами:

- экономичность;
- легковозводимость;
- эффективность.

Т.к. в лабораторных условиях нет возможности придать стержням форму идеального полукруга, принято решение прибегнуть к разбивке несущих конструкций на несколько секций.

Было предложено 4 вида конструкции, из которых выбрана одна схема на основании численных исследований.

Принятые снеговой и ветровой районы - V и III соответственно.

Нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности (S_e) для V снегового района равно 2,5 кПа (по таб. 10.1 СП 20).

Пульсационная составляющая ветрового воздействия (w_p) будет вычислена автоматически в ПК Лира Софт, потому достаточно задать лишь основное ветровое воздействие (w_{0T}). Нормативное значение ветрового давления принимается по таб. 11.1 СП20 и для III ветрового района составляет 0,38 кПа. Тип местности - А.

2.1.1 Арка с разбивкой на 10 секций

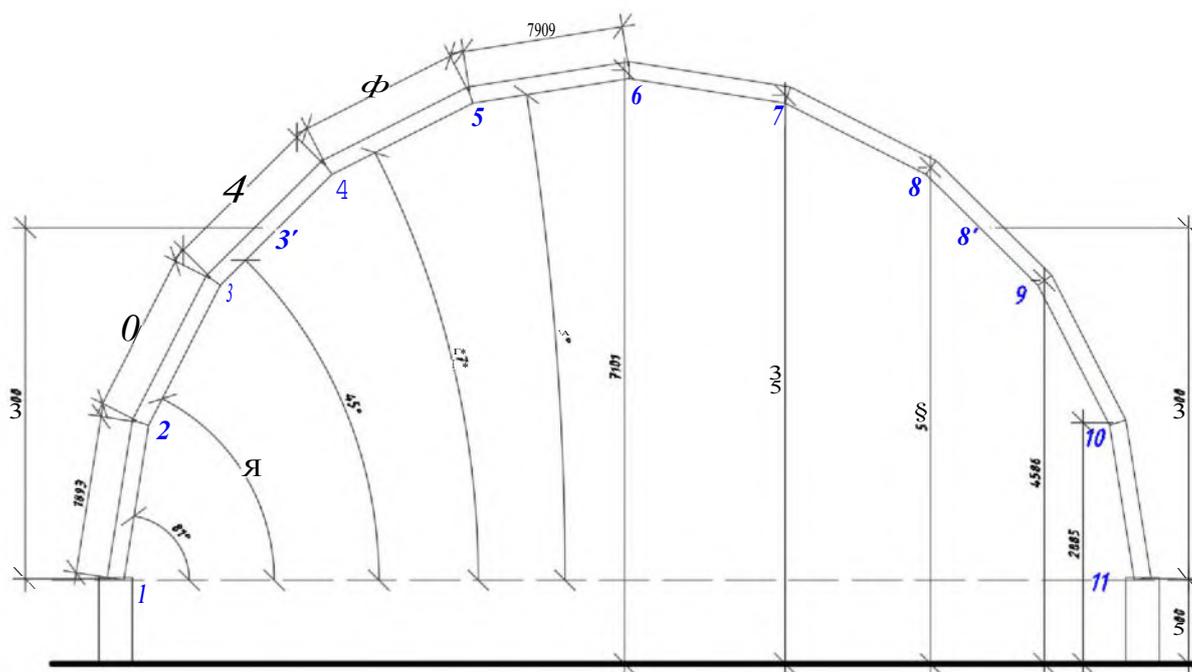


Рисунок 1 - Арка с разбивкой на 10 секций

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закум.	Подпись	Дата		11

Сбор нагрузок:

а) Снеговые нагрузки:

Согласно п. Б.2. СП20, для зданий со сводчатыми и близкими к ним по очертанию покрытиями следует принимать:

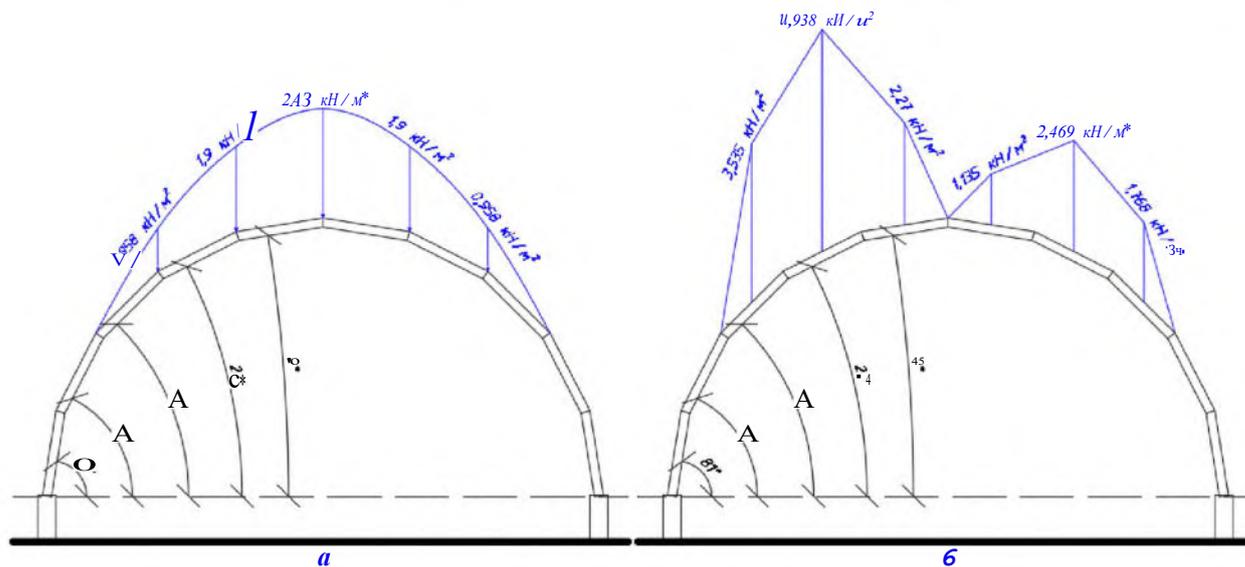
$$s_1 = a > 8(1,5 \times); D_2 = 2 \times T(3 \times); \quad (1)$$

где a – уклон покрытия, град. При этом значения μ_1 вычисляются в каждой точке покрытия, значения s_2 в точках с уклоном $a = 30^\circ, 60^\circ$ и в крайнем сечении покрытия. Промежуточные значения s_2 определяются линейной интерполяцией. При $a \geq 60^\circ$ $s_1 = s_2 = 0$.

Из рисунка 1 и п. Б.2. СП 20 следует, что необходимо вычислить коэффициенты μ_1 и D_2 при углах 45, 27 и 9 градусов.

Таблица 2 - Коэффициенты μ_1 и D_2 для арки с разбивкой на 10 частей

Угол, град.	D_1	Нагрузка от s_1 , кН/м ²	D_2	Нагрузка от s_2 , кН/м ²
45	0,383	0,958	1,414	3,535
27	0,76	1,9	1,975	4,938
9	0,972	2,43	0,908	2,27



а - нагрузка от s_1 ; б - нагрузка от D_2

Рисунок 2 - Снеговые нагрузки

б) Ветровые нагрузки:

Ветровые нагрузки определяются по п. В.1.3 и В.1.2 СП 20.

Для определения аэродинамических коэффициентов, необходимо определить:

· эквивалентную высоту:

$B = 7\text{ м}; Z = 12\text{ м}; h < d \Rightarrow$ принимаем по п. 11.1.5(а) СП 20 $z_e = y = 7\text{ м}$.

· расчетную эквивалентную высоту:

по п. В.1.3 СП 20, $\Pi = h_1 + 0,7l = 1 + 0,7 \cdot 6 = 5,2\text{ м}$.

· коэффициенты:

$$\frac{l}{l} = \frac{4}{12} = 0,5; \quad (2)$$

$$\frac{\Pi_e}{l} = \frac{1}{12} = 0,083 \quad (3)$$

По вычисленным данным и рисунку В.5 СП 20 определяем аэродинамические коэффициенты:

Таблица 3 - Аэродинамические коэффициенты

Коэффициент	Значение
C_{e1}	0,8
C_{e2}	-1,2
C_{e3}	-0,4

Вычислим коэффициенты, учитывающие изменение ветрового давления для высоты z_e (таб. 11.2 СП 20), а также усилия основного ветрового воздействия для каждого элемента:

Таблица 4 - Расчет усилий ветрового воздействия для типа местности А

№ эл-та на рис. 1	Высота от ур. земли, м	Высота z_e , м	К·т К(ге)	Нормативная нагрузка ветрового давления, кН/м ²
1-2	1	1	0,75	0,228
2-3	2,885	2,32	0,75	0,228
3-3'	5,2	3,94	0,76	0,228
3'-4	4,586	3,51	0,75	-0,342
4-5	5,936	4,455	0,797	-0,342
5-6	6,803	5,062	0,84	-0,343
6-7	7,101	5,271	0,855	-0,348
7-8	6,803	5,062	0,84	-0,343
8-8'	5,2	3,94	0,76	-0,342
8'-9	5,936	4,455	0,797	-0,114
9-10	4,586	3,51	0,75	-0,114
10-11	2,885	2,32	0,75	-0,114

в) Нагрузки от веса пленки

Пленка ЕТРЕ имеет плотность 1750 кг/м^3 . При толщине пленки 1 мм, нагрузка составит $1,75 \text{ кг/м}^2$.

Создание расчетной схемы:

Была создана расчетная схема туннеля длиной 100 м с шагом арок 2 м в ПК Лира Софт. В основании арок установлены фундаментные столбики из железобетона высотой 1 м. Арки опираются на них шарнирно в своей плоскости.

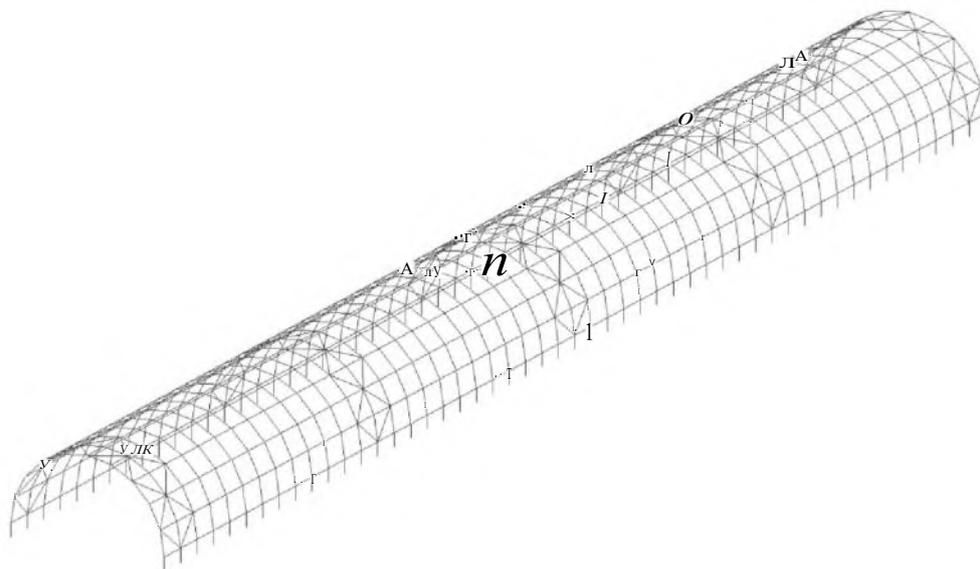


Рисунок 3 - Расчетная схема туннеля с арками из 10 частей

2)+(1*1.4)+(1*1.6)

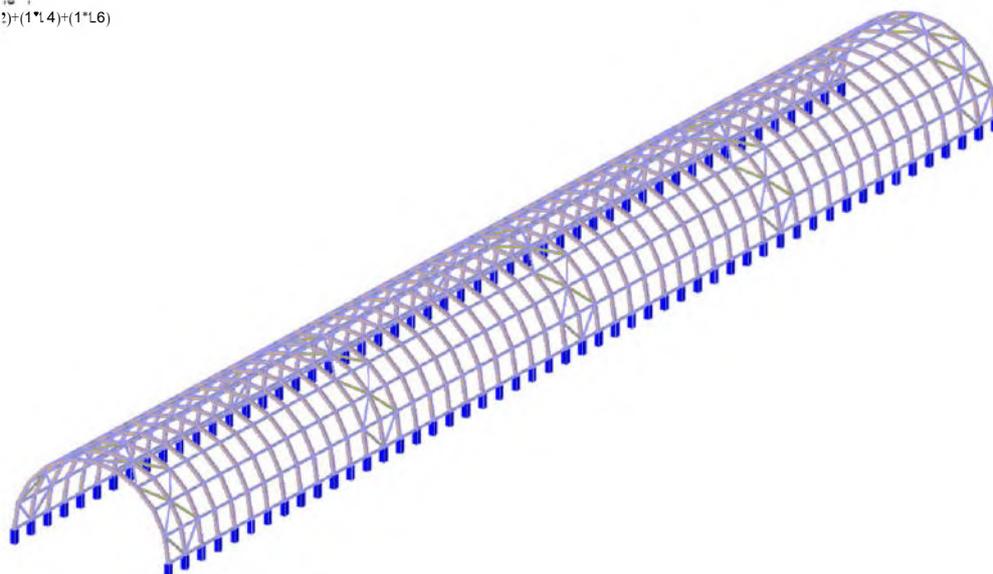


Рисунок 4 - 3Э визуализация расчетной схемы туннеля с арками из 10 частей

Связи прикреплены к основным конструкциям шарнирно. Фундаментные столбики имеют жесткие связи с основанием.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата		14

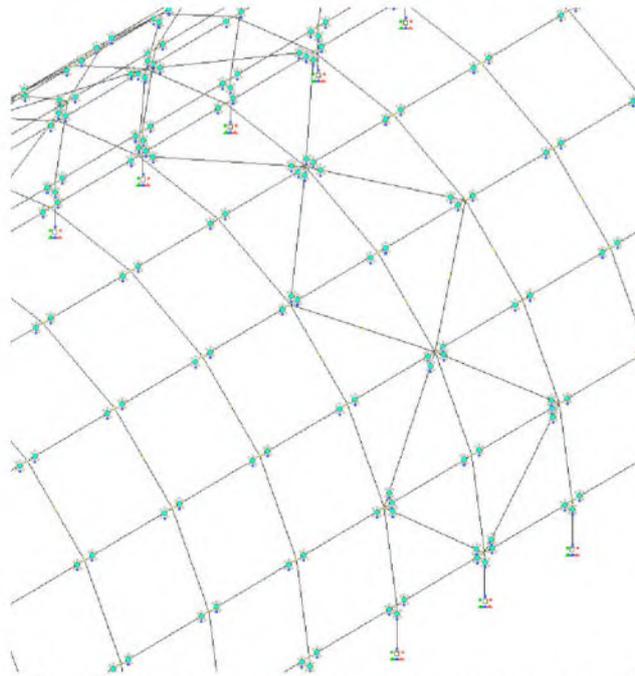


Рисунок 5 – Фрагмент туннеля с визуализацией связей

Ранее посчитанные нагрузки заданы на расчетную схему. Значения на рисунках в $тс/м^2$

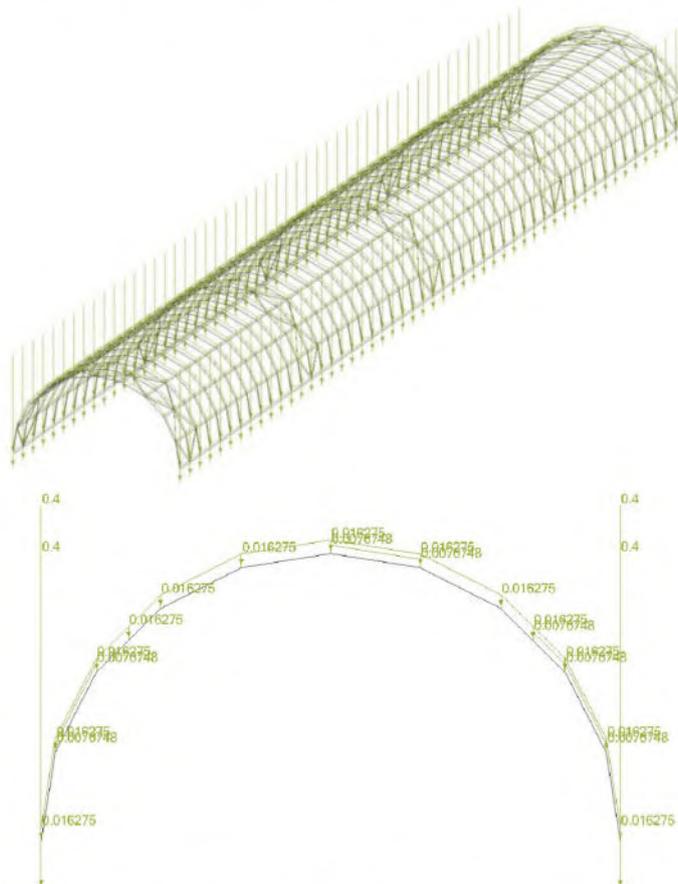


Рисунок 6 – Собственный вес

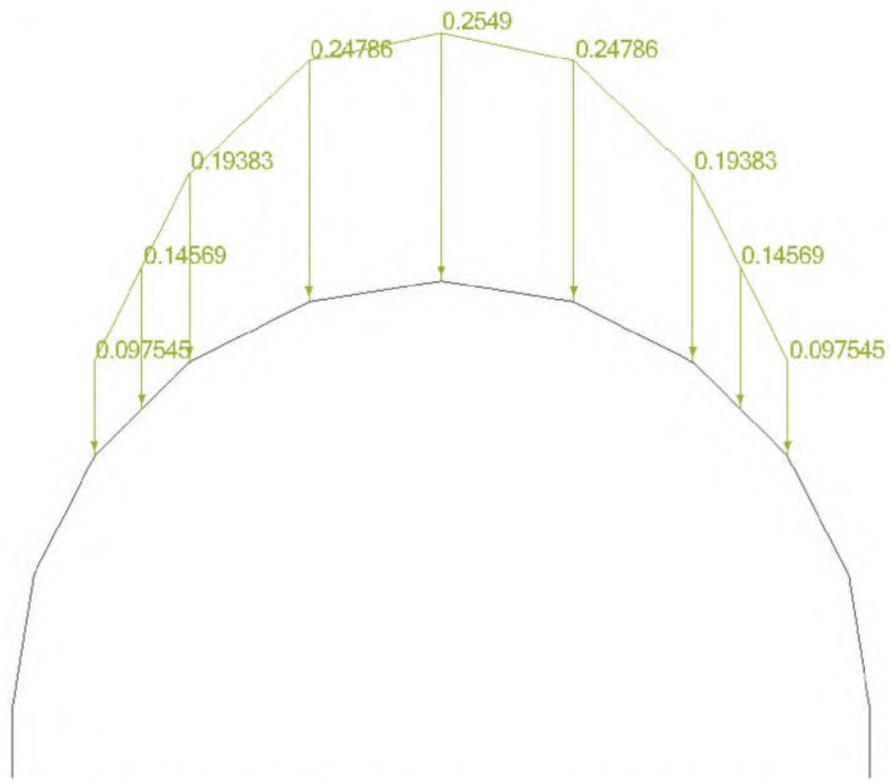
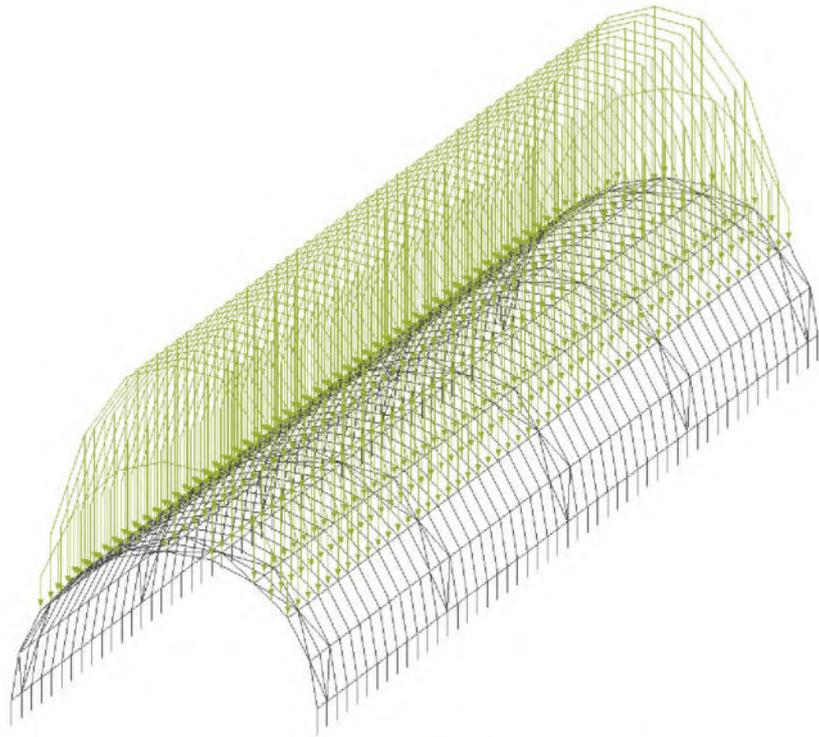


Рисунок 7 – 1 вариация снеговой нагрузки

Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата

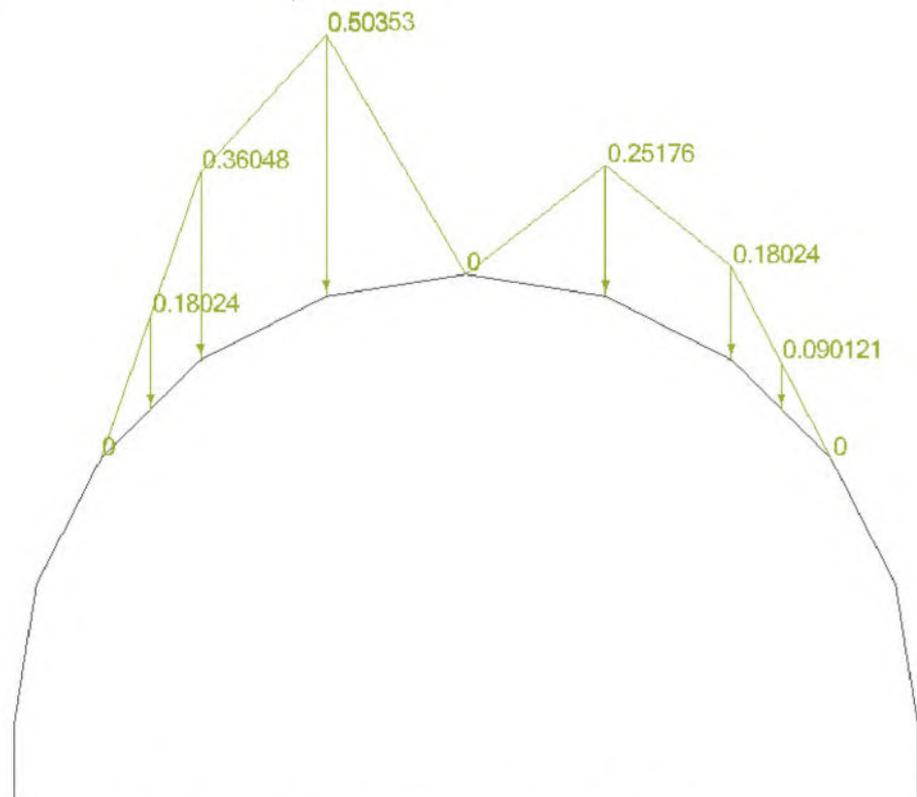
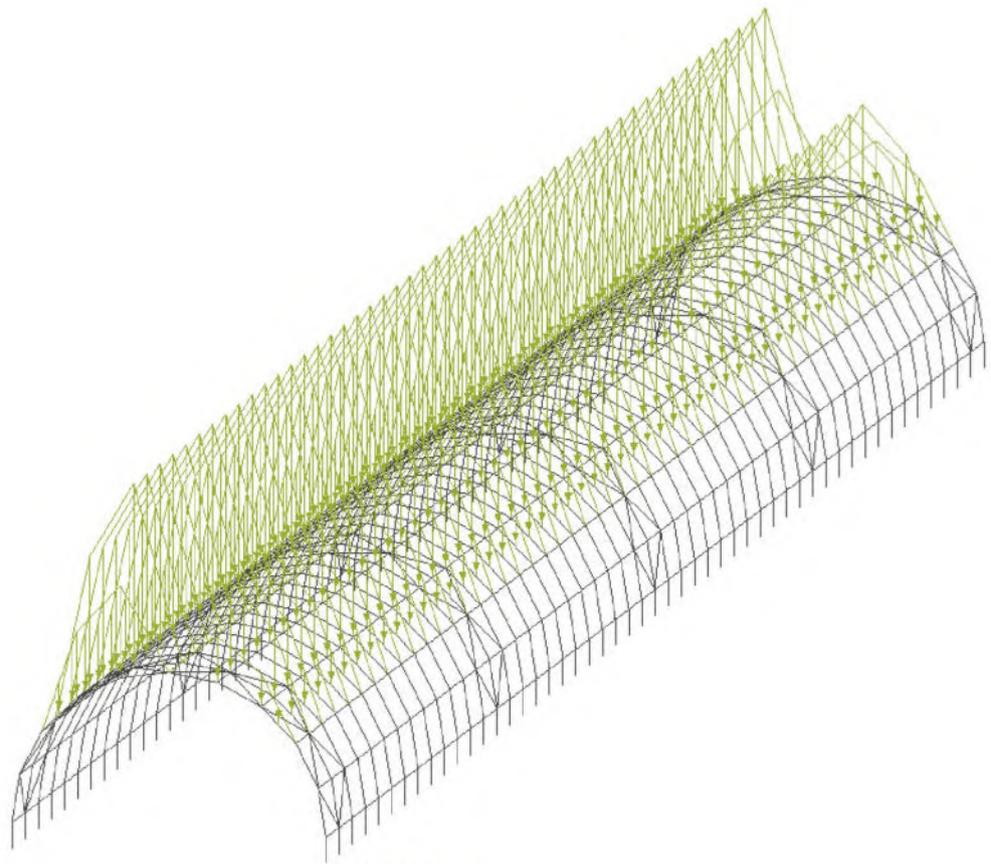


Рисунок 8 – 2 вариация снеговой нагрузки

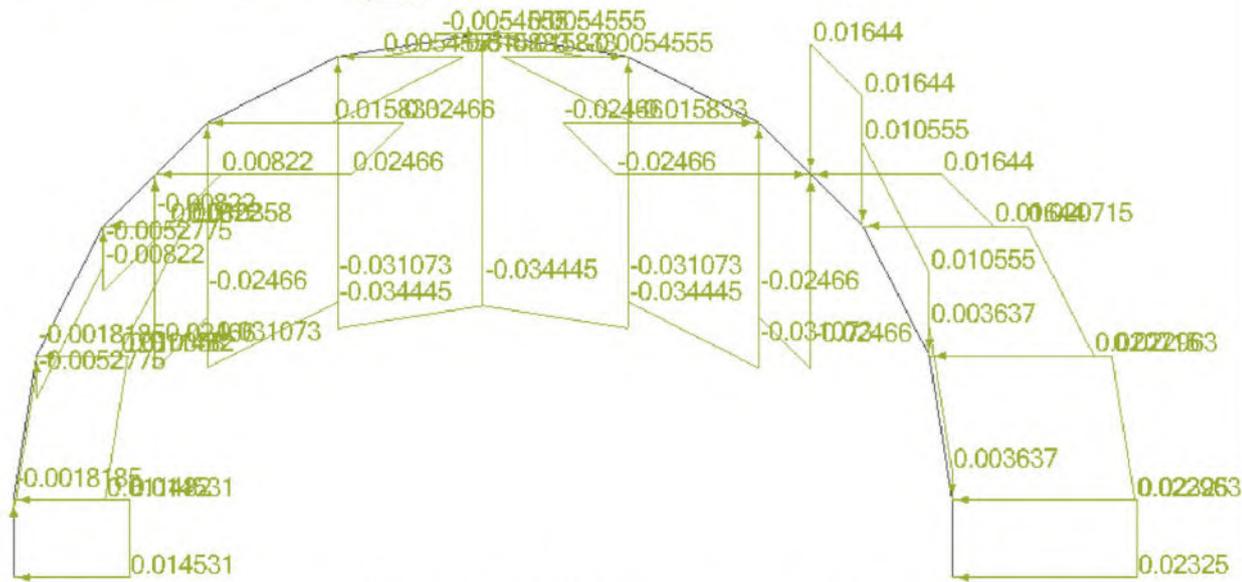
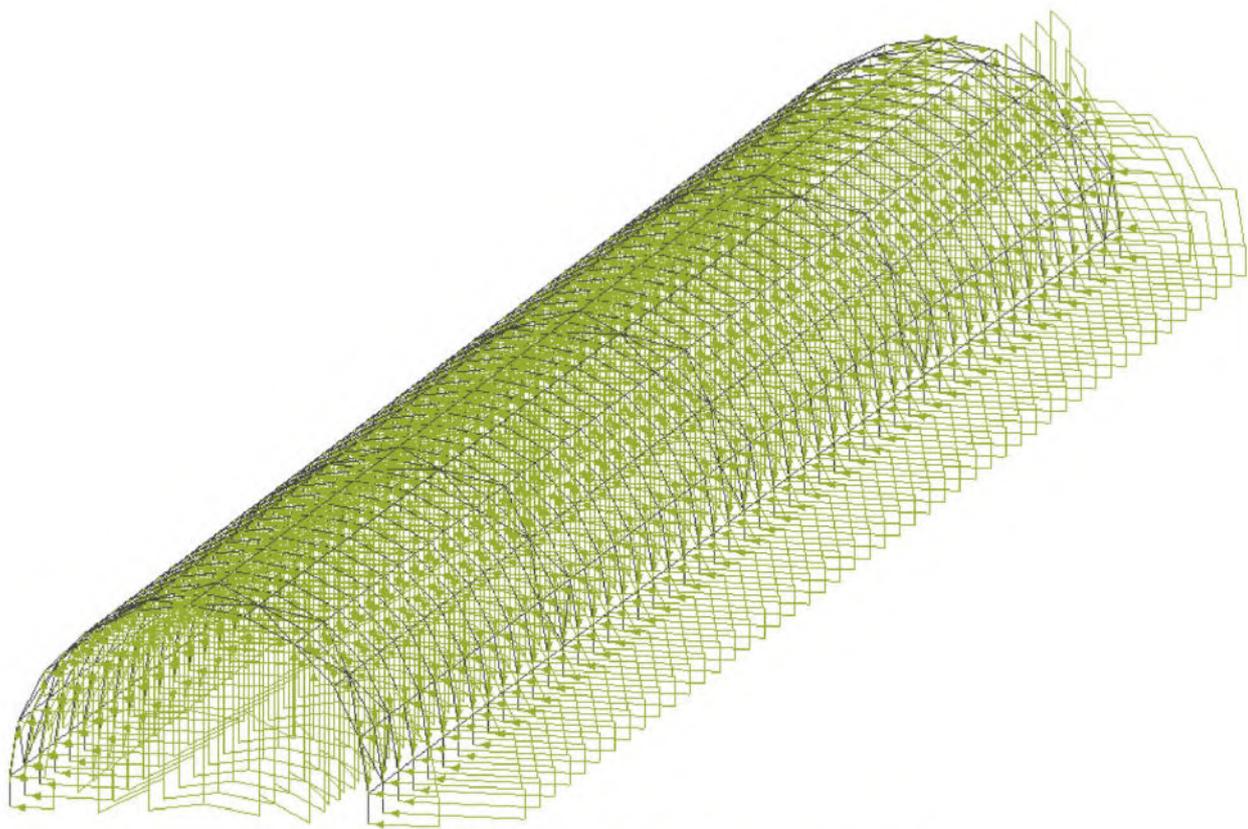


Рисунок 9 – Ветровая нагрузка

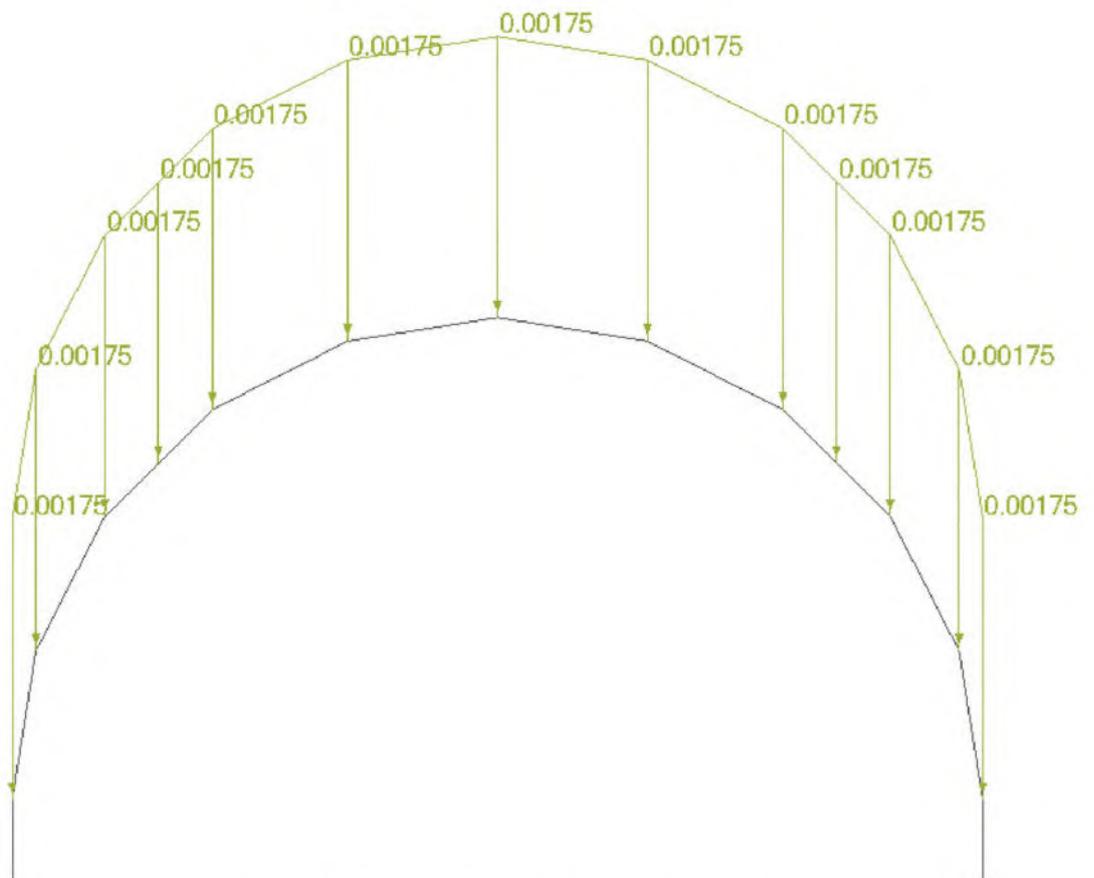
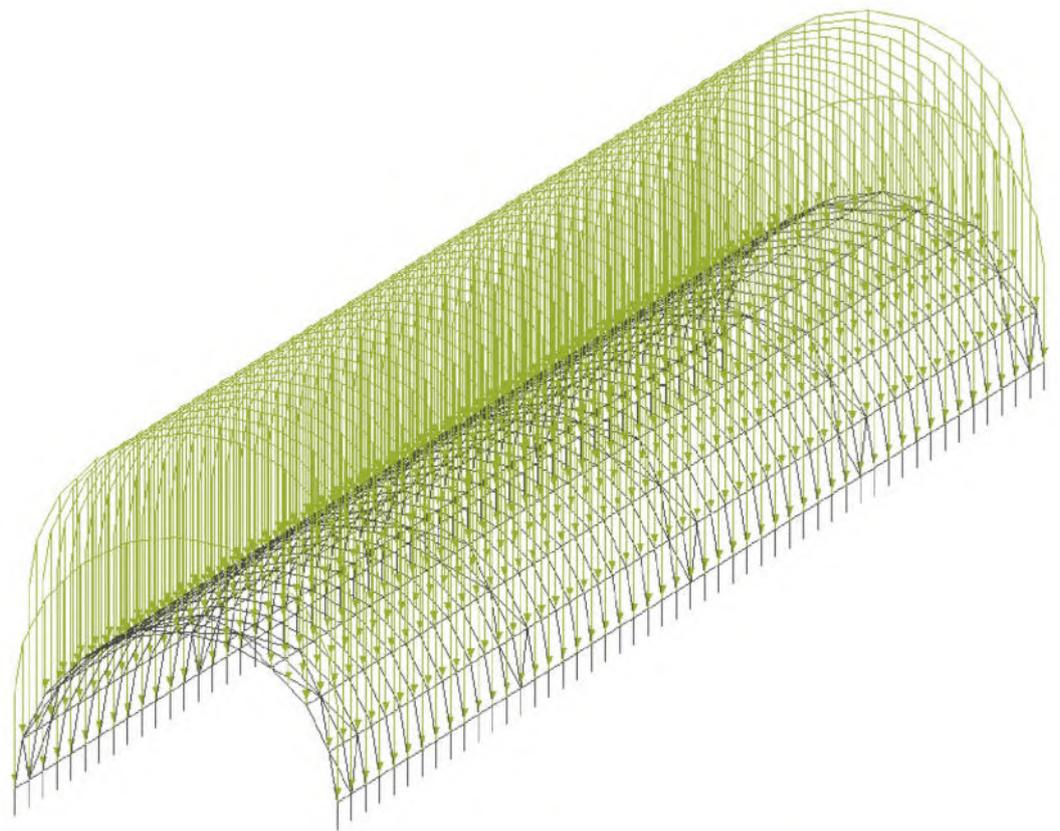


Рисунок 10 – Нагрузка от веса пленки

Динамика с разложением по собственным формам колебаний : Пульсационная составляющая ветрового воздействия (Ветер пульс 1)

Имя Ветер пульс 1

Описание

Параметры частичной проблемы собственных значений

Количество форм 10

Матрица масс Диагональная

Учет эксцентриситетов масс Суммировать формы с кратными частотами

Редактировать...

Выберите расчетный модуль (25) Пульсационная составляющая ветрового воздействия по СП 20.13330.2011(СП 20.13330.2016)

Параметры пульсационной составляющей ветрового воздействия по СП 20.13330.2016

Поправочный коэффициент к инерционным силам 1

Расстояние (И) между поверхностью земли и минимальной аппликацией мм

Эквивалентная высота Для прочих зданий

Размер здания (а) вдоль оси X 12000 мм

Ветровой район (табл. III

Размер здания (б) вдоль оси Y 1E+05 мм

Тип местности (п. 11.1.6) А - открытые побережья морж

Размер здания (б) перпендикулярно расчетному направлению ветра 1E+05 мм

Логарифмический 0.3 - железобетонные и камо

Многоэтажное здание высотой до 40м либо одноэтажное производственное здание высотой до 36м при отношении высоты к пролету менее 1.5, размещаемое в местностях типа А и В

Учитывать изменение №1 к СП 20.13330.2016, вступившее в силу с 6 января 2019 года

Формирование матрицы масс для текущего динамического нагружения

Из загрузки Преобразование статических нагрузок в массы

Кoeffициент преобразования: 1

Из плотности элементов

Имя загрузки	Кoeffициент преобразования
1. СВ	1
2. Снег вар1	1

Добавить

Изменить

Удалить

Сочетания нагружений

Вид загрузки Мгновенное Знакопеременность По умолчанию

Кoeffициент приведения

К нормативным нагрузкам 1

К расчетным нагрузкам 1.4

Доля длительности 0

Кoeffициенты для РСУ

1 основное	2 основное	Сейсмическое	Особое	5 сочетание	6 сочетание
1	1	0	1	0	0

Рисунок 11- Настройки загрузки ветрового пульсационного воздействия

Было создано 2 сочетания нагрузок, в которых учитывается 2 вариации снеговой нагрузки.

Таблица 5 - Сочетания нагрузок

Наименование нагрузки	К-т приведения к расчетным нагрузкам	Сочетание 1	Сочетание 2
Собственный вес	1,05	+	+
1 вариация снеговой нагрузки	1,4	+	-
2 вариация снеговой нагрузки	1,4	-	+
Пульсационная составляющая ветрового воздействия 1	1,4	+	-
Пульсационная составляющая ветрового воздействия 2	1,4	-	+
Вес пленки	1,05	+	+

Расчет и подбор сечений:

В качестве основного параметра, по которому в первую очередь производится подбор сечений - это прогибы по оси 2. Для конструкции с пролетом 12 м. предельно допустимый прогиб составляет:

$$\frac{12000}{250} = 48 \text{ мм}$$

В качестве основных несущих конструкций было подобрано сечение из стеклопластика в виде коробки размерами 180x200x8 мм.

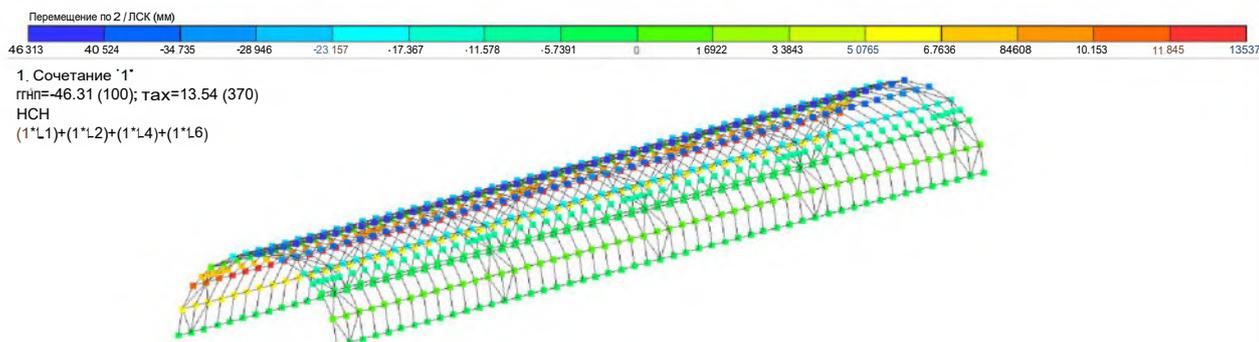


Рисунок 12 - Перемещения по 2 (шах -46,313 мм)

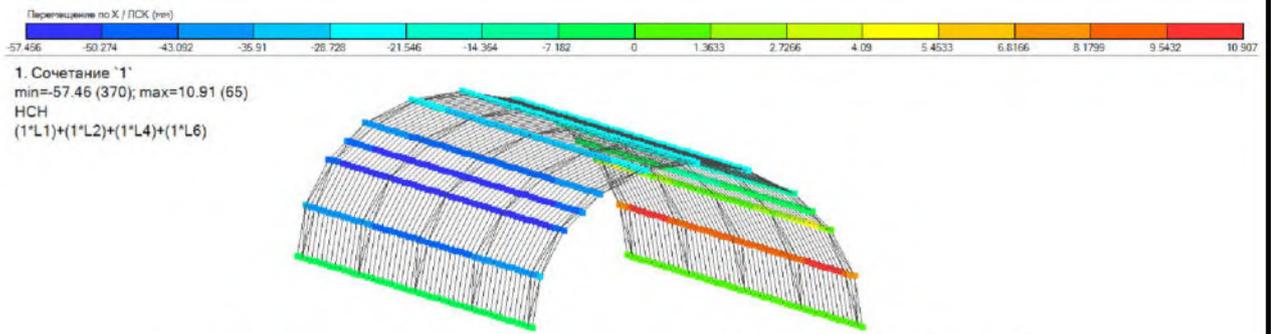


Рисунок 13 – Перемещения по X (max -57,456 мм)

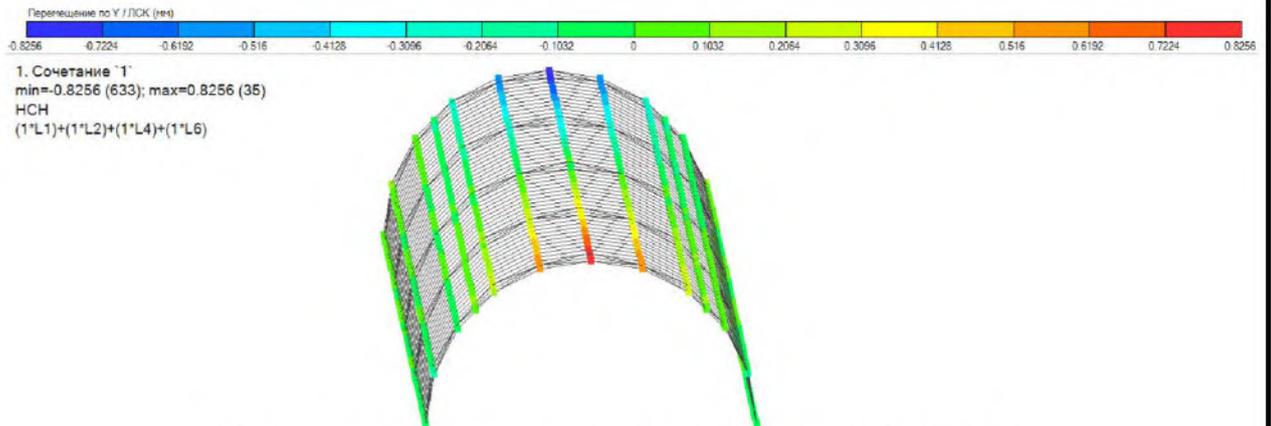


Рисунок 14 – Перемещения по Y (max -0,8256 мм)

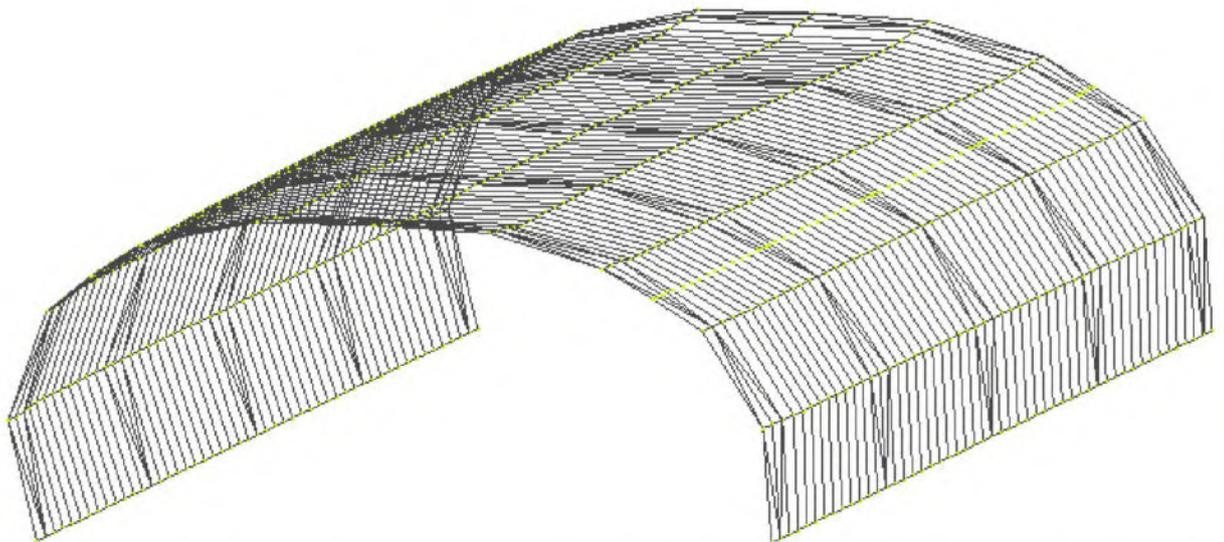


Рисунок 15 – Деформированная расчетная схема от сочетания нагрузок 1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

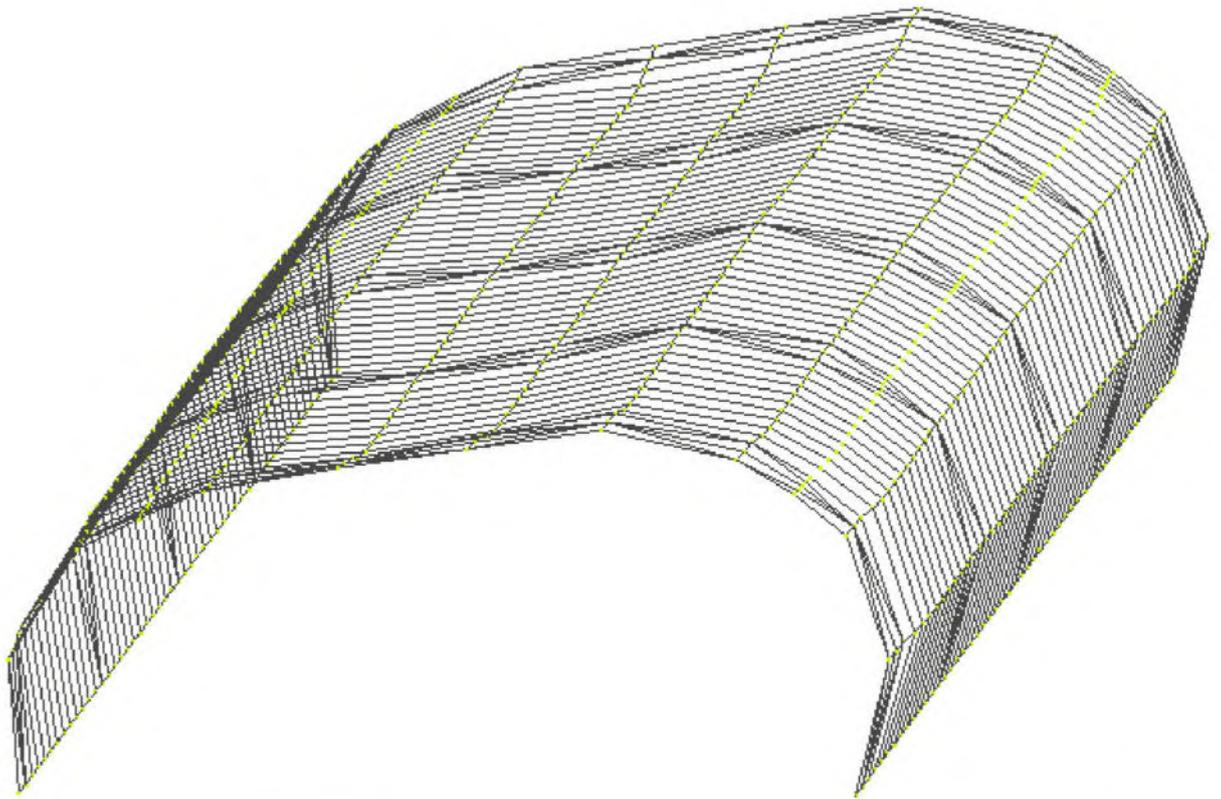


Рисунок 16 – Деформированная схема от сочетания нагрузок 2

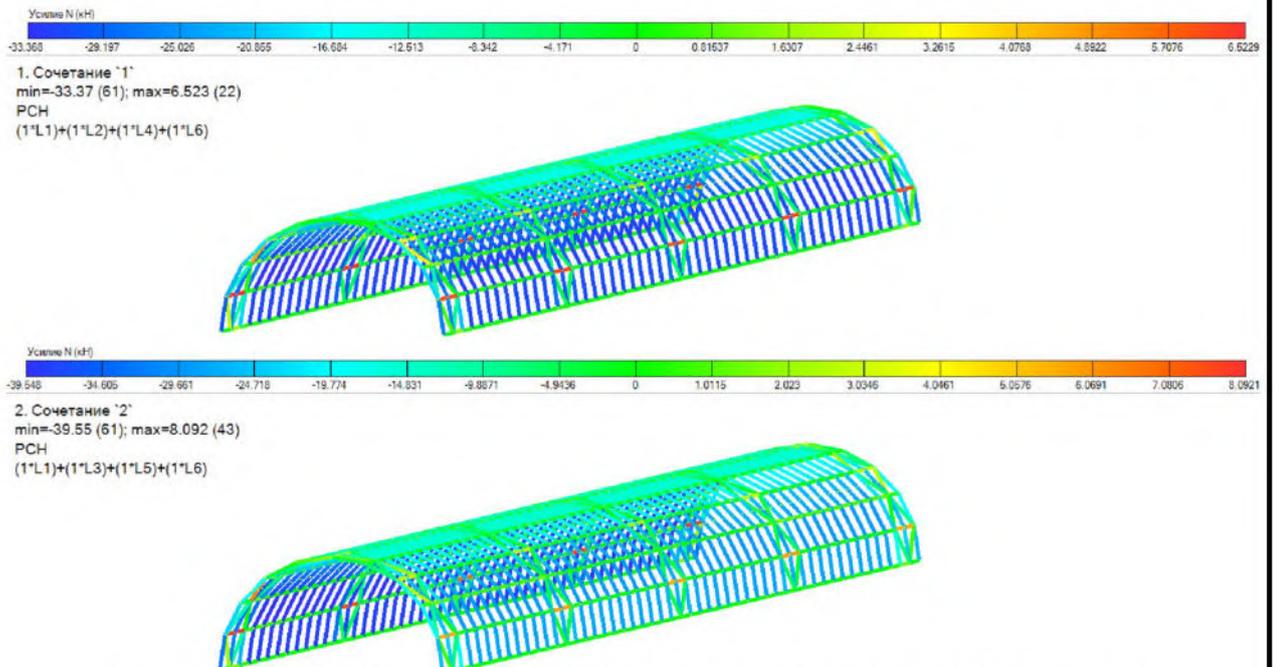


Рисунок 17 – Усилия N от двух сочетаний (max -39,548 кН)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

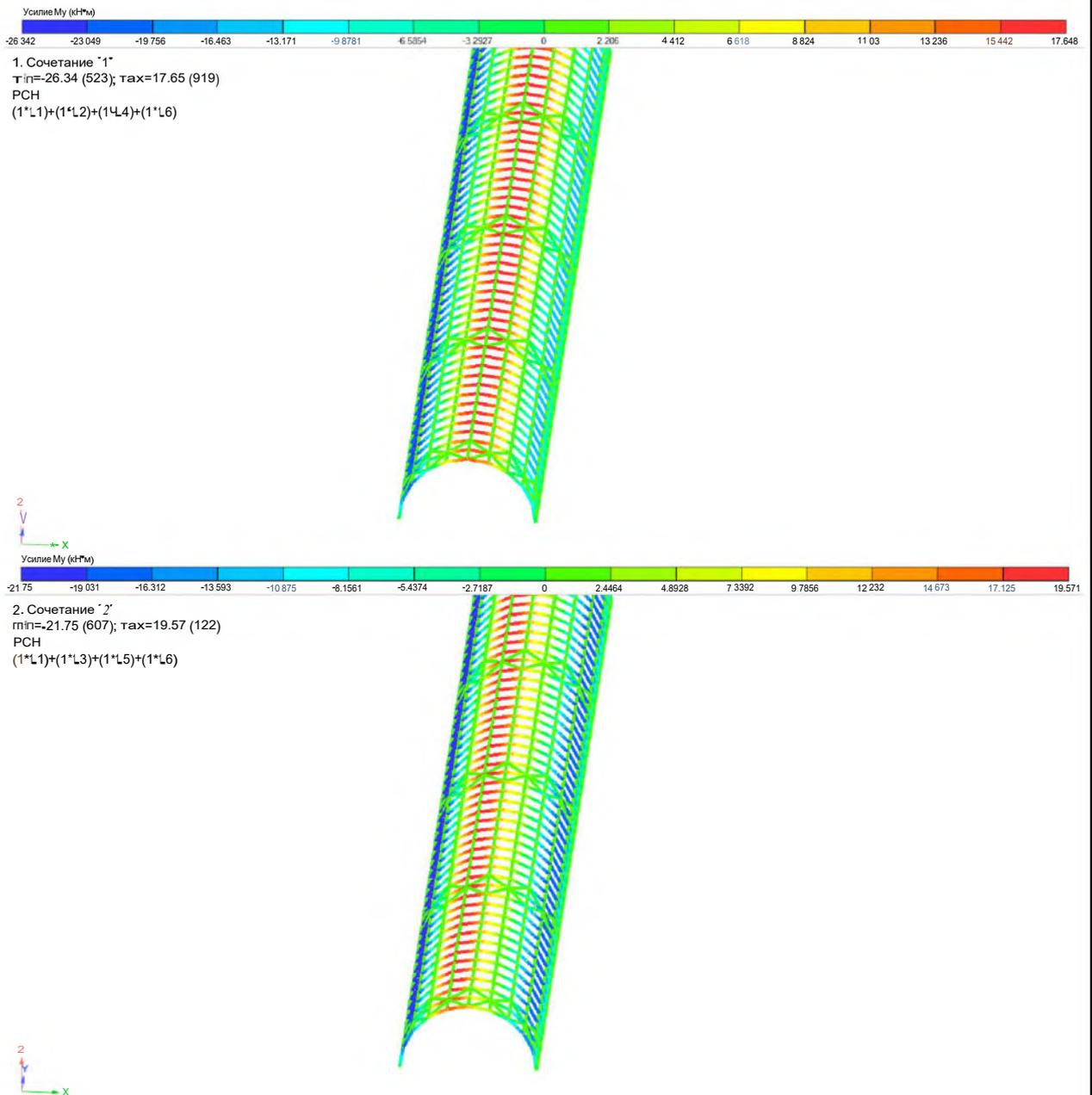


Рисунок 18 - Усилия Mu от двух сочетаний (тах 26,342 кН*м)

Произведем проверку сечения на прочность по формуле:

$$\left| \frac{N}{A_{ус}} + \frac{M_u}{W_{ус}} \right| \leq K_u, \quad (4)$$

где N - продольное усилие, кН;

M_у - усилие изгибающего момента, кН*м;

A - площадь поперечного сечения, м²;

W_у - момент сопротивления сечения, м³;

у_с - к-т работы;

K_у – расчетное сопротивление материала на изгиб, МПа.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата		24

$$N = -39,548 \text{ кН};$$

$$M_y = 26,342 \text{ кН*м};$$

$$A = 0,005824 \text{ м}^2;$$

$$XV = \frac{b a^3 - b_2 a \lambda}{6a} = \frac{0,18 * 0,23 - 0,164 * 0,1843}{6 * 0,2} = 0,000349 \text{ м}^3$$

$$y_c = 1;$$

$$K_y = 226,9 \text{ МПа} = 226900 \text{ кПа}.$$

$$\left| \frac{-39,548}{0,005824} + \frac{-26,342}{0,000349} \right| = 82269,032 \text{ кПа} < 226900 \text{ кПа}.$$

Коэффициент использования сечения составляет 36,26%.

2.1.2. Арка с разбивкой на 5 секций

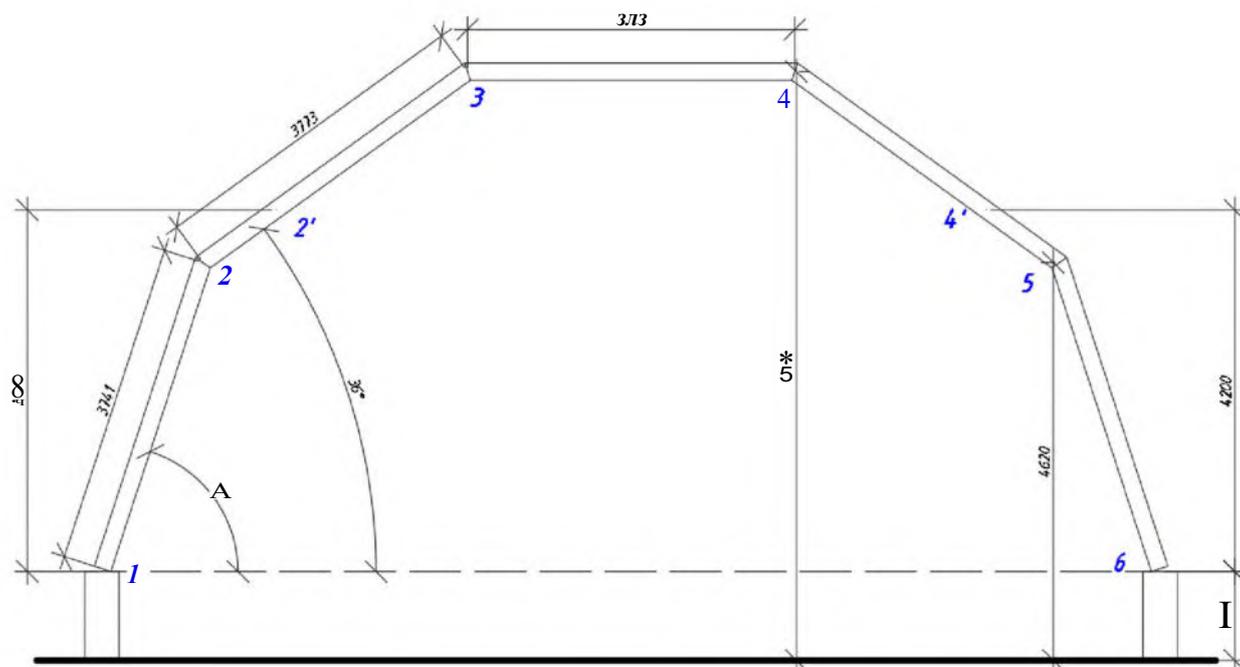


Рисунок 19 - Арка с разбивкой на 5 секций

Сбор нагрузок:

а) Снеговые нагрузки:

Сбор снеговых нагрузок производится аналогично п. 2.1.1.

Таблица 6 - Коэффициенты μ_1 и μ_2 для арки с разбивкой на 10 частей

Угол, град.	μ_1	μ_2
36	0,58779	1,90211
0	1	0

б) Ветровые нагрузки:

Сбор ветровых нагрузок производится аналогично п. 2.1.1.

Таблица 7 - Аэродинамические коэффициенты

Коэффициент	Значение
C_{e1}	0,8
C_{e2}	-1,2
C_{e3}	-0,4

Таблица 8 - Расчет усилий ветрового воздействия для типа местности А

№ эл-та на рис. 19	Высота от ур. земли, м	Высота z_e , м	К·т $K(z_e)$	Нормативная нагрузка ветрового давления, $кН/м^2$
1-2	4,62	3,534	0,75	0,228
2-2'	5,2	3,94	0,75	0,228
2'-3	6,838	5,0866	0,754	-0,343824
3-4	6,838	5,0866	0,754	-0,343824
4-4'	5,2	3,94	0,75	-0,114
4'-5	4,62	3,534	0,75	-0,114

Создание расчетной схемы:

Была создана расчетная схема, аналогичная и. 2.1.1, изменена форма арок и связей.

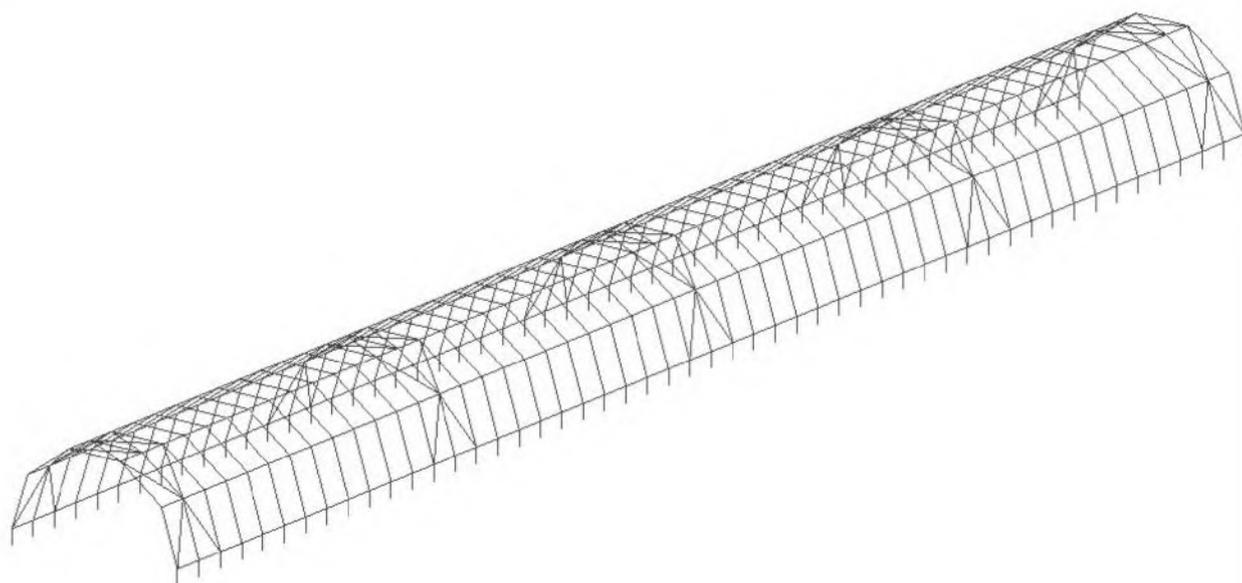


Рисунок 20 - Расчетная схема туннеля с арками из 5 частей

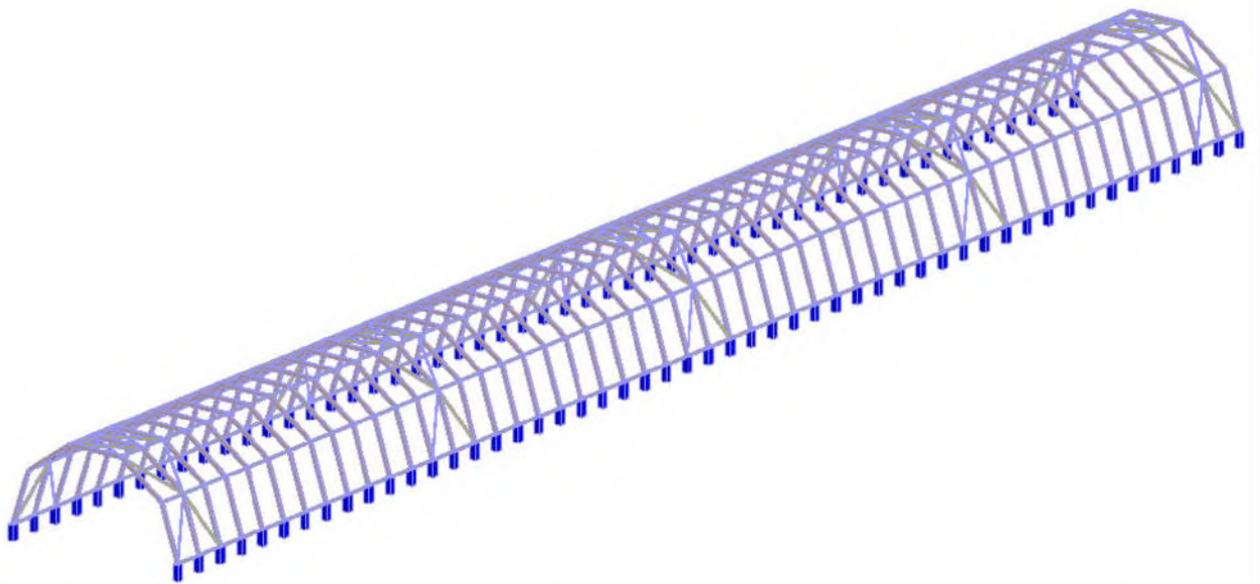


Рисунок 21 – 3D визуализация расчетной схемы туннеля с арками из 5 частей

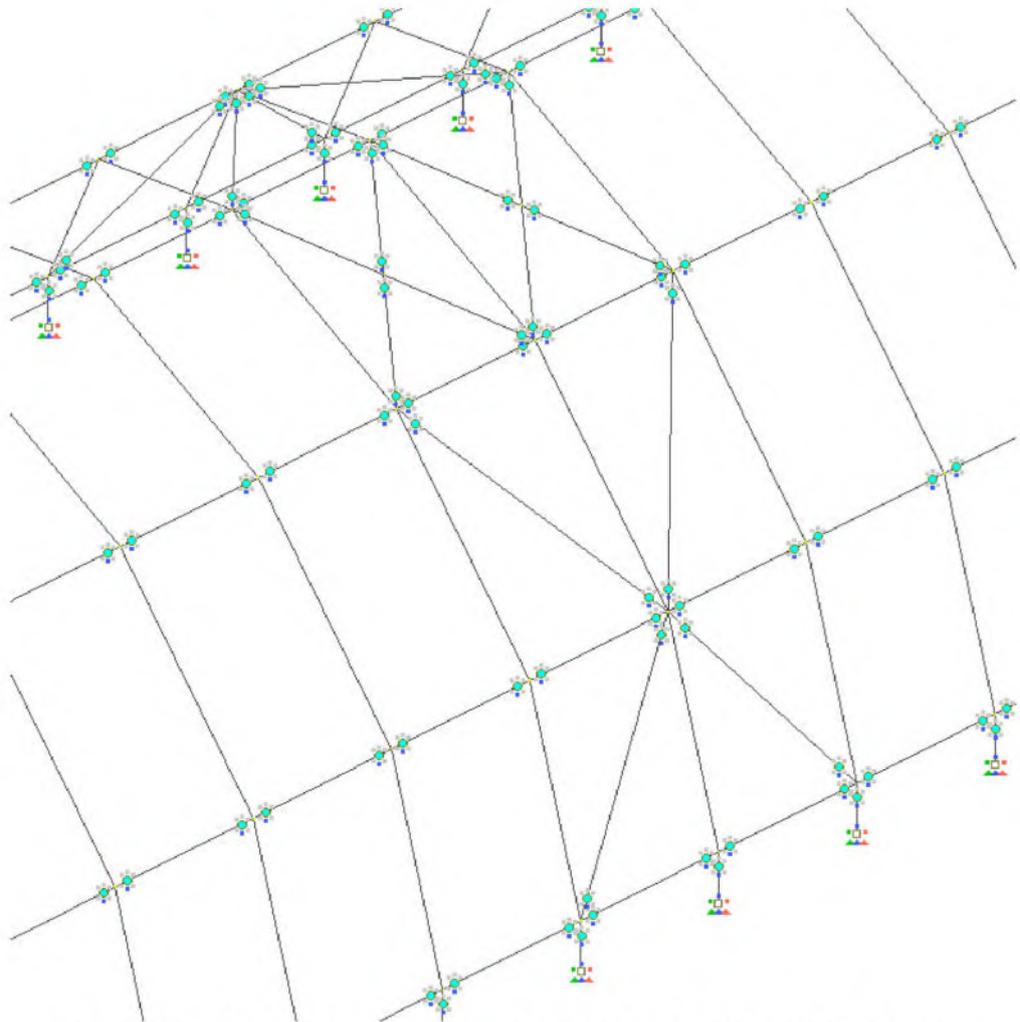


Рисунок 22 – Фрагмент туннеля с визуализацией связей

Значения нагрузок на рисунках в тс/м²

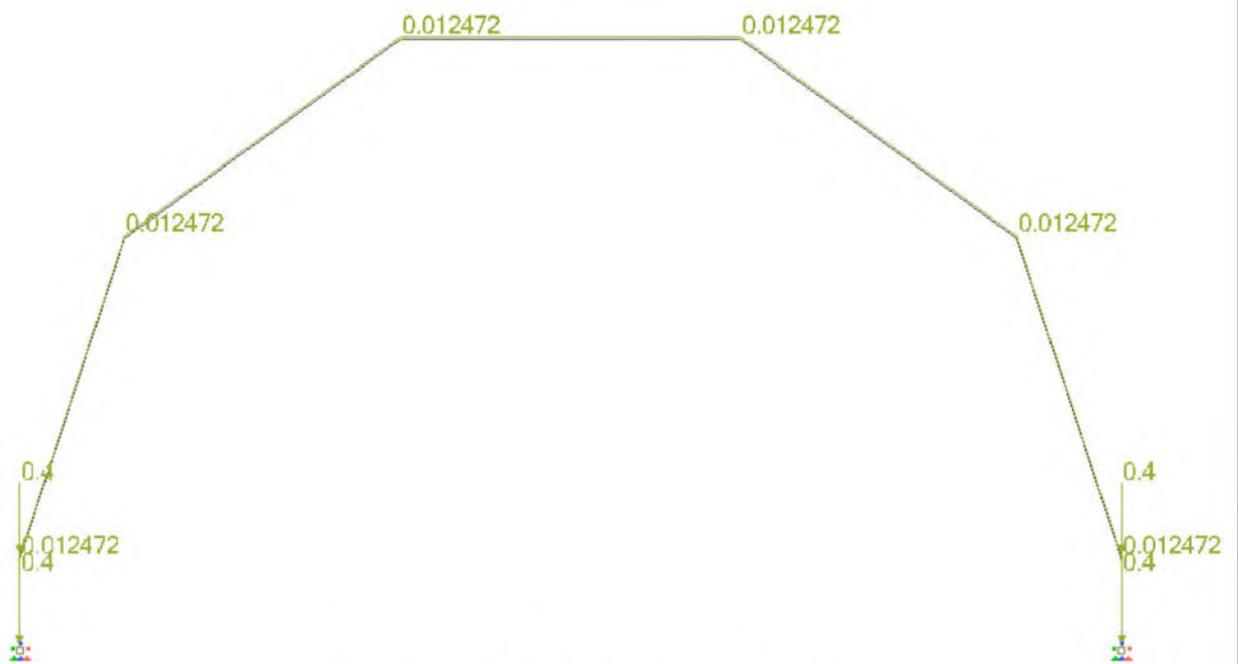
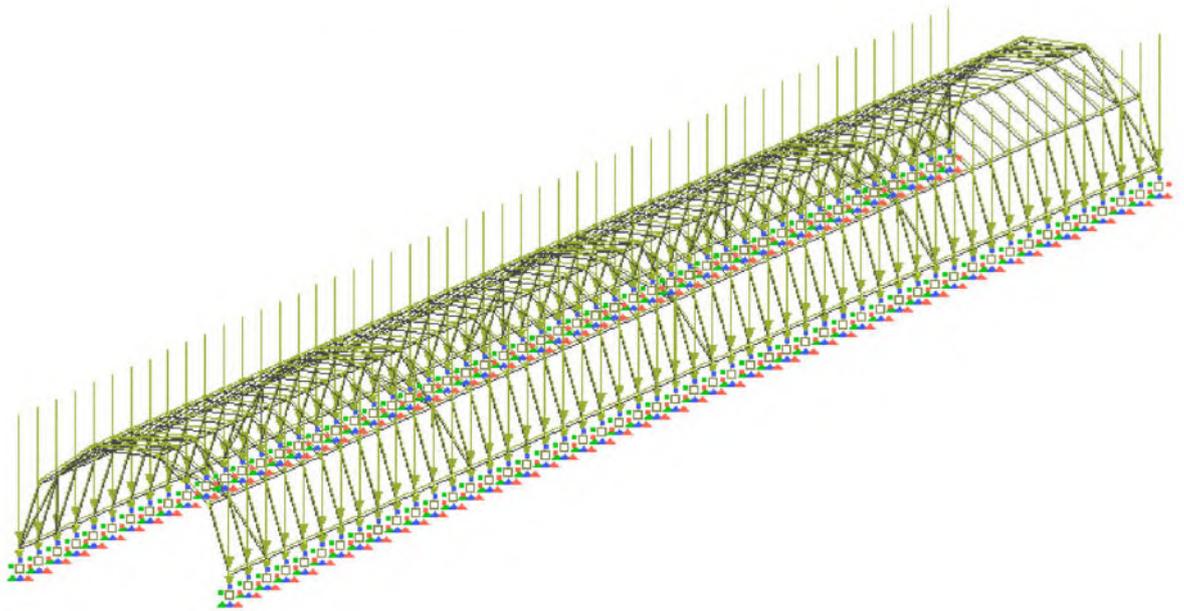


Рисунок 23 – Собственный вес

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закум.	Подпись	Дата		28

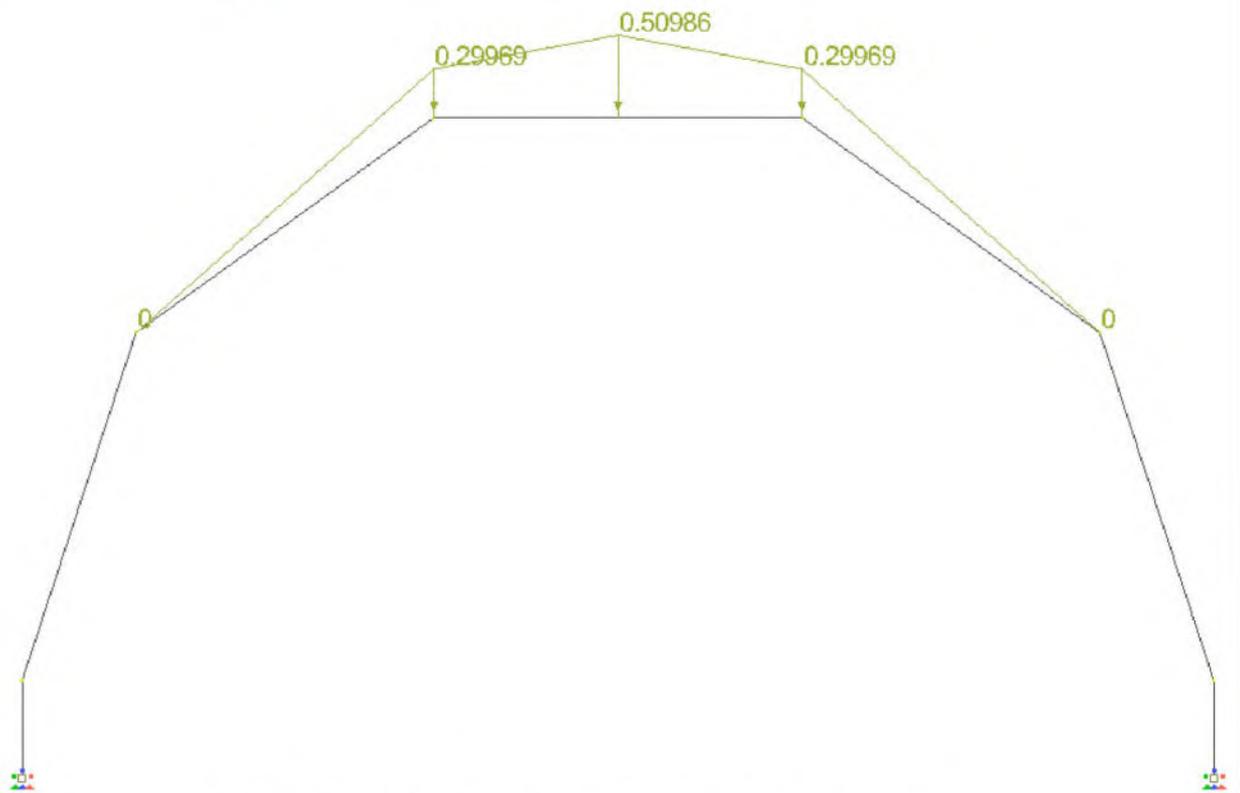
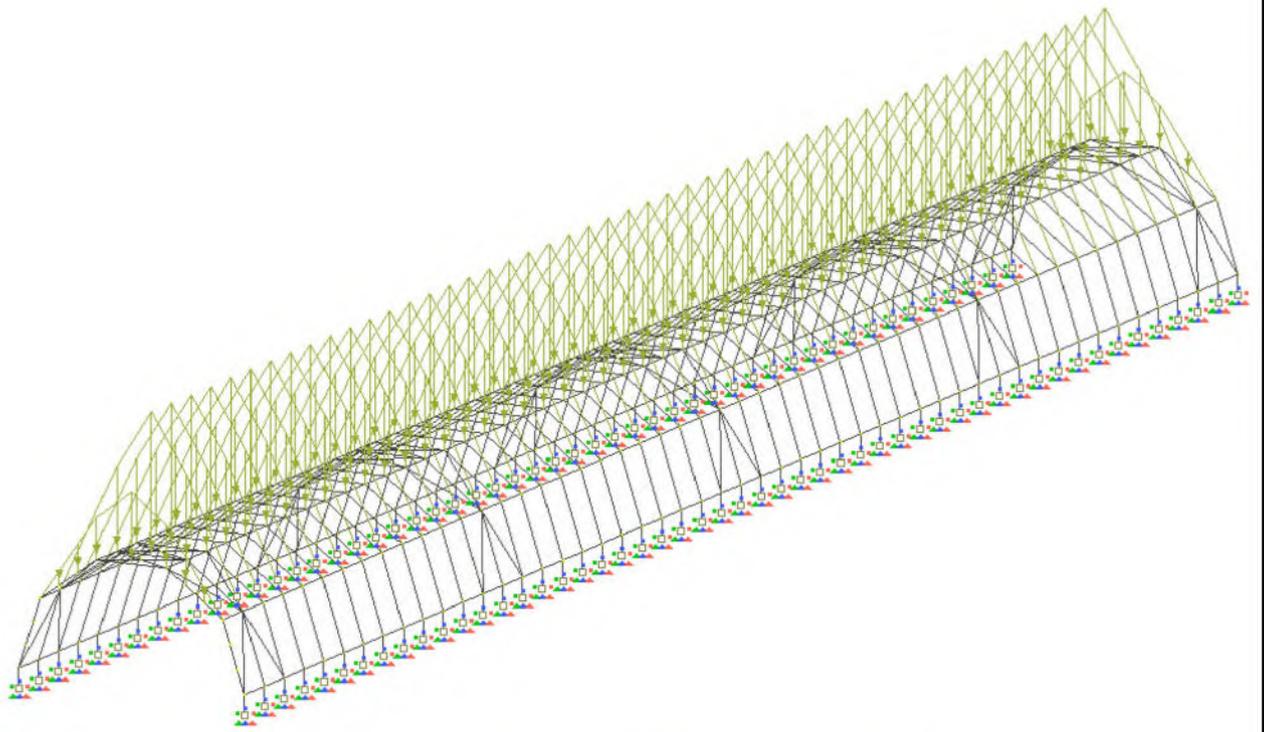


Рисунок 24 – 1 вариация снеговой нагрузки

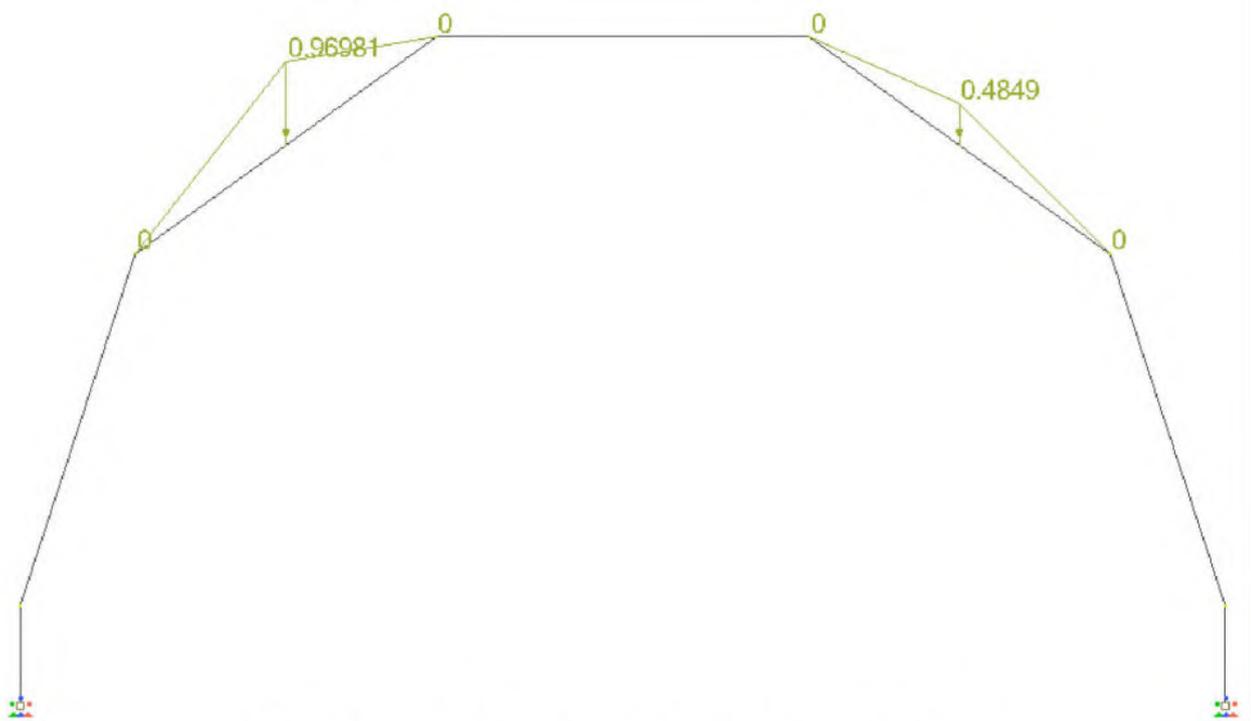
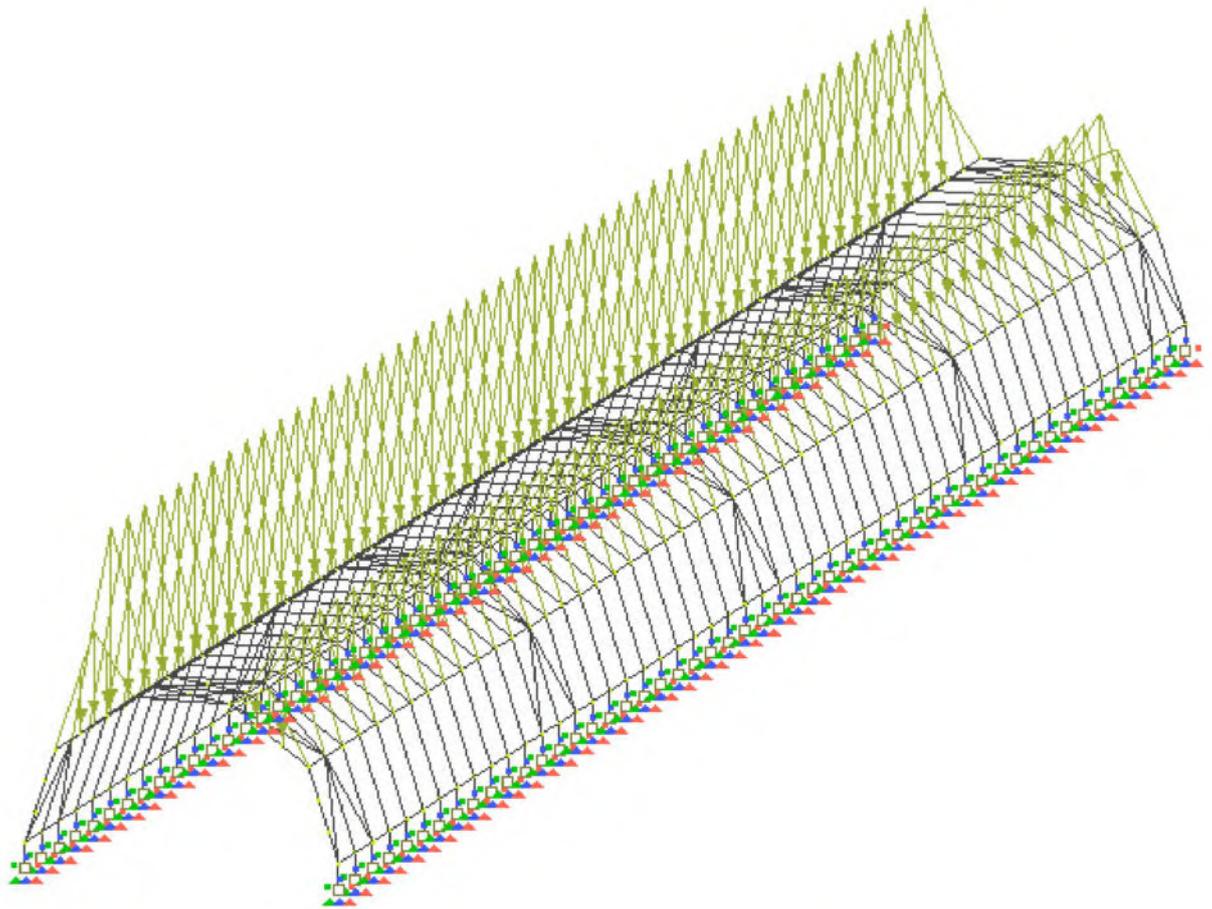


Рисунок 25 – 2 вариация снеговой нагрузки

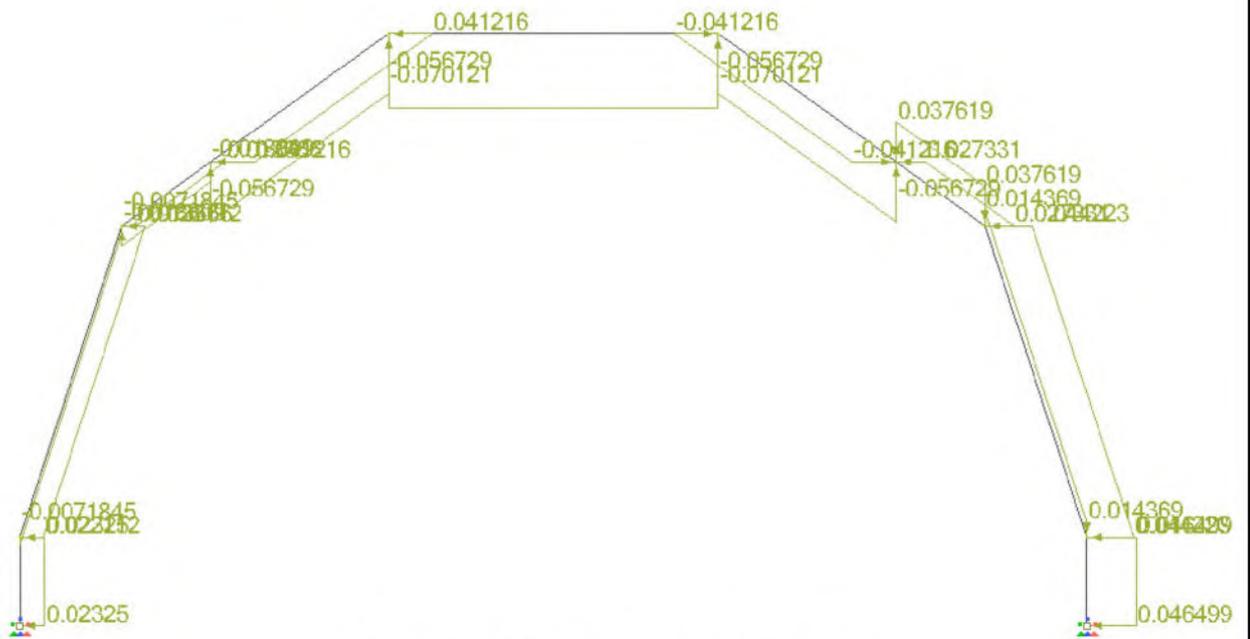
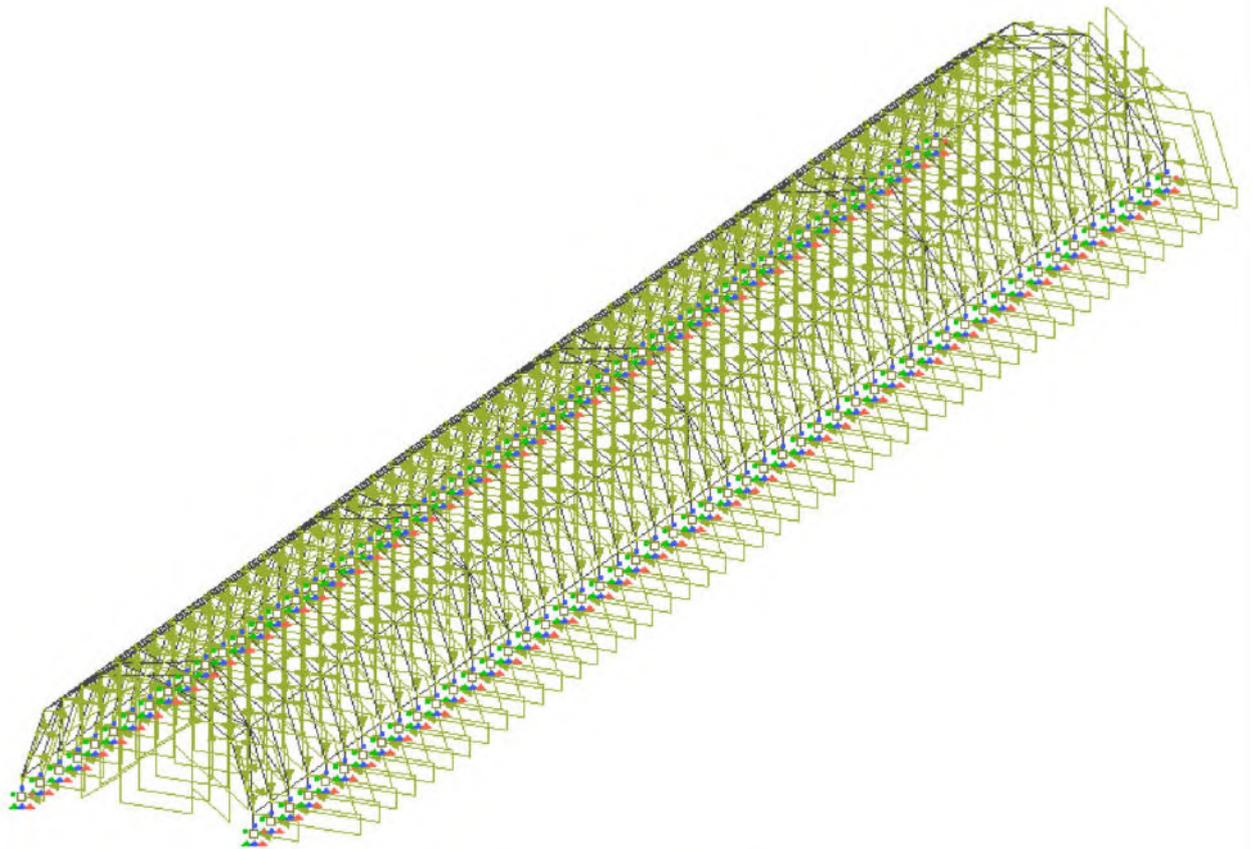


Рисунок 26 – Ветровая нагрузка

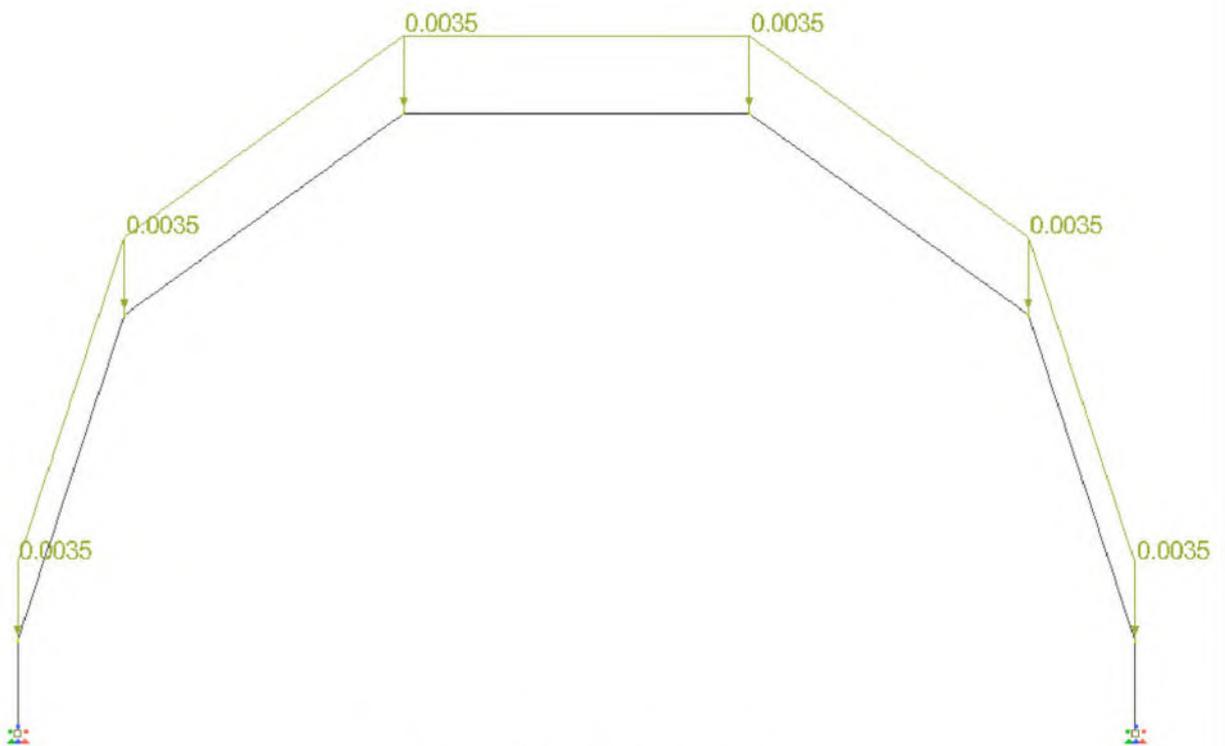
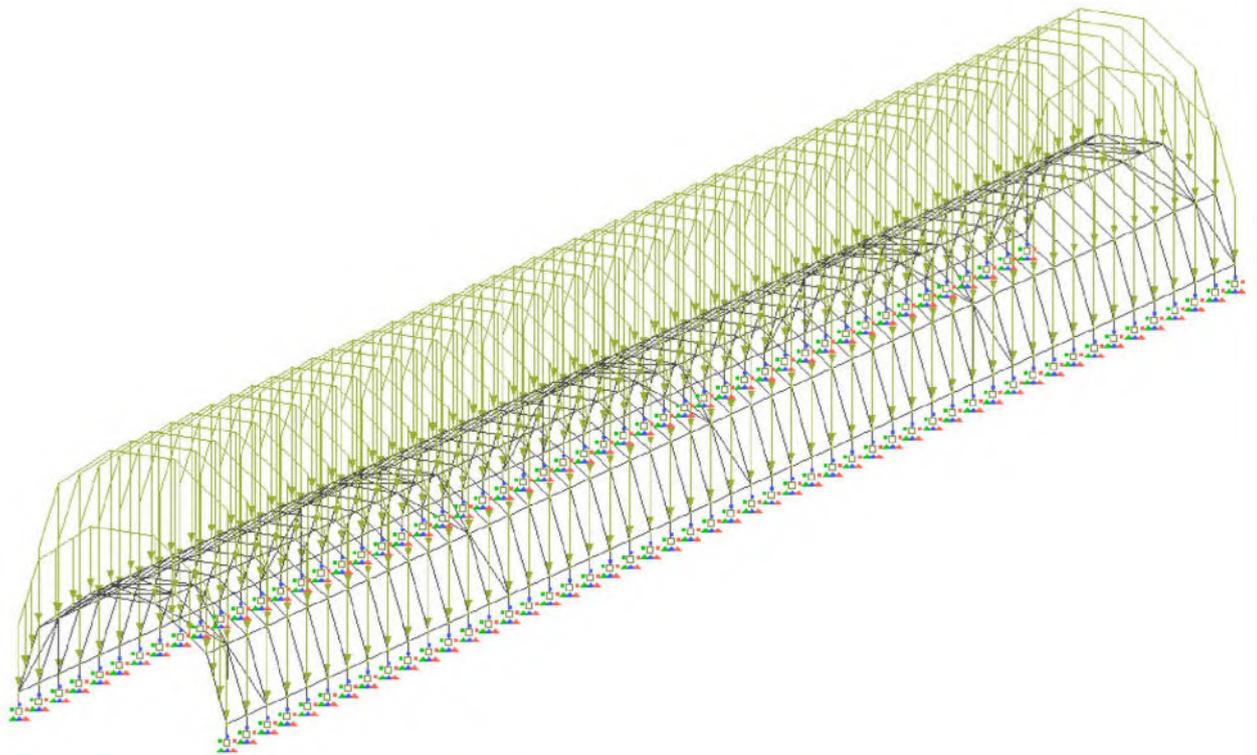


Рисунок 27 – Вес пленки

Расчет и подбор сечений:

В качестве основных несущих конструкций было подобрано сечение из стеклопластика в виде коробки размером 140x180x8 мм.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

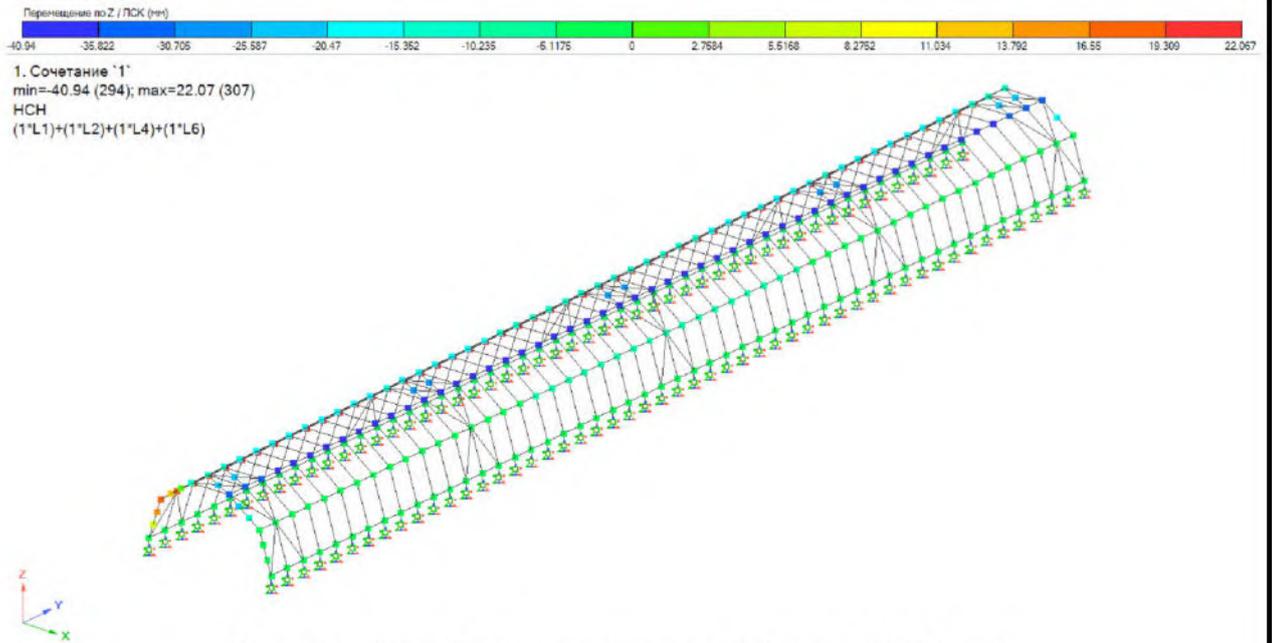


Рисунок 28 – Перемещения по Z (max -40,94 мм)

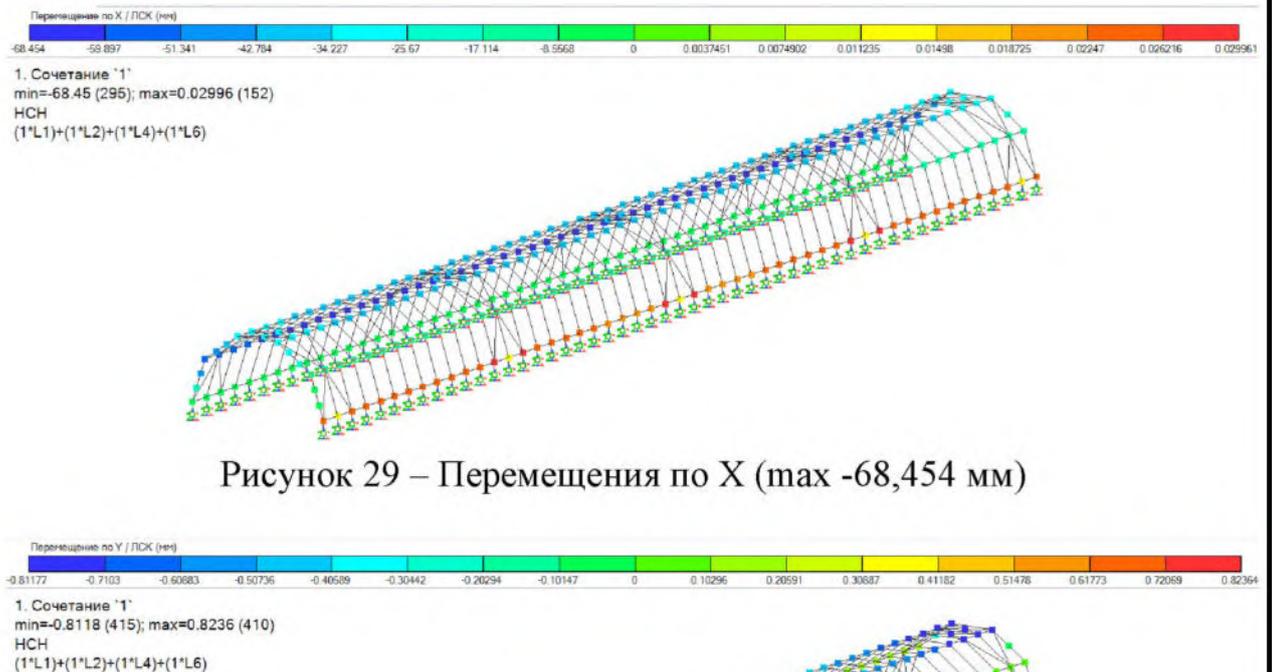


Рисунок 29 – Перемещения по X (max -68,454 мм)

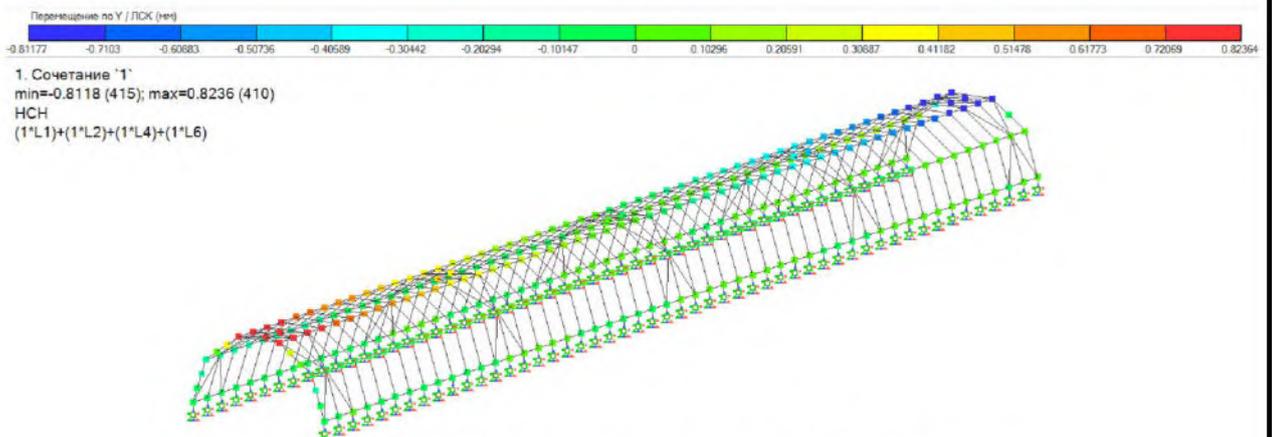


Рисунок 30 – Перемещения по Y (max 0,824 мм)

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

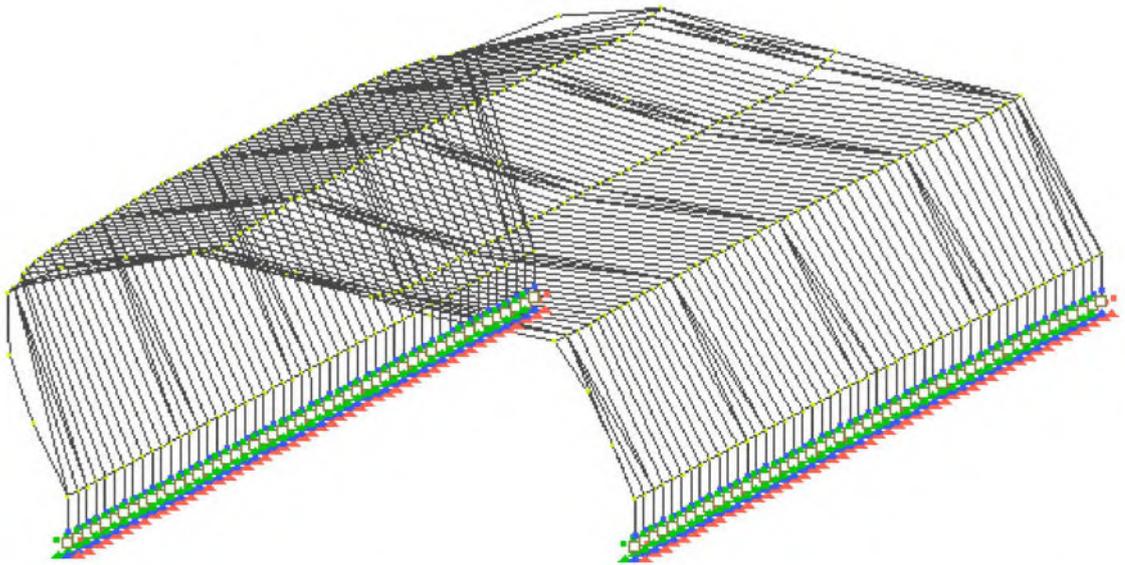


Рисунок 31 – Деформированная расчетная схема от сочетания нагрузок 1

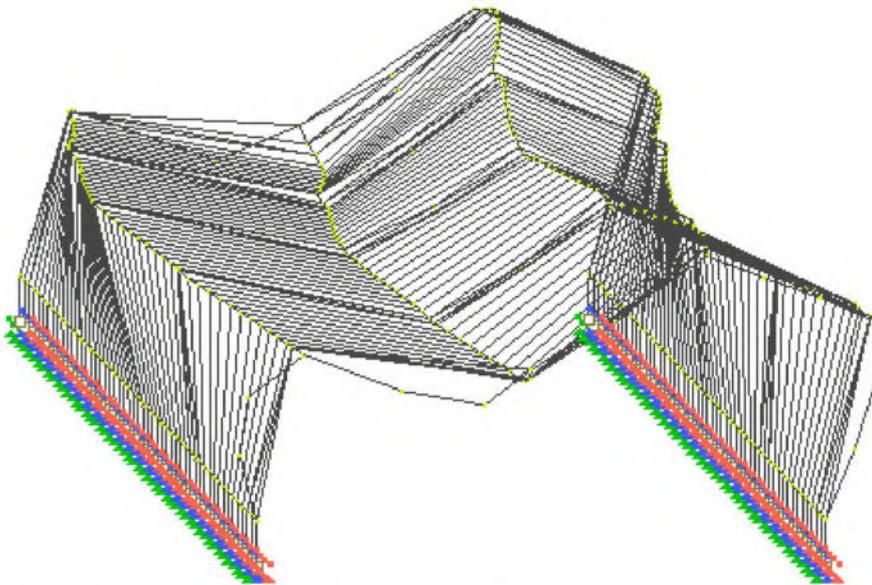


Рисунок 32 – Деформированная расчетная схема от сочетания нагрузок 2

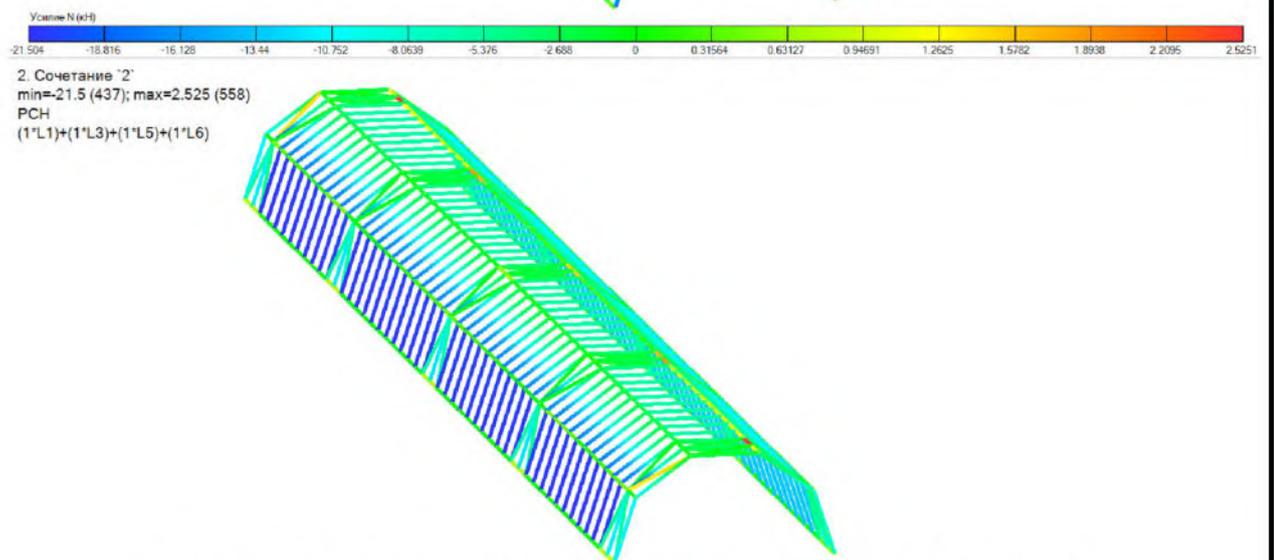
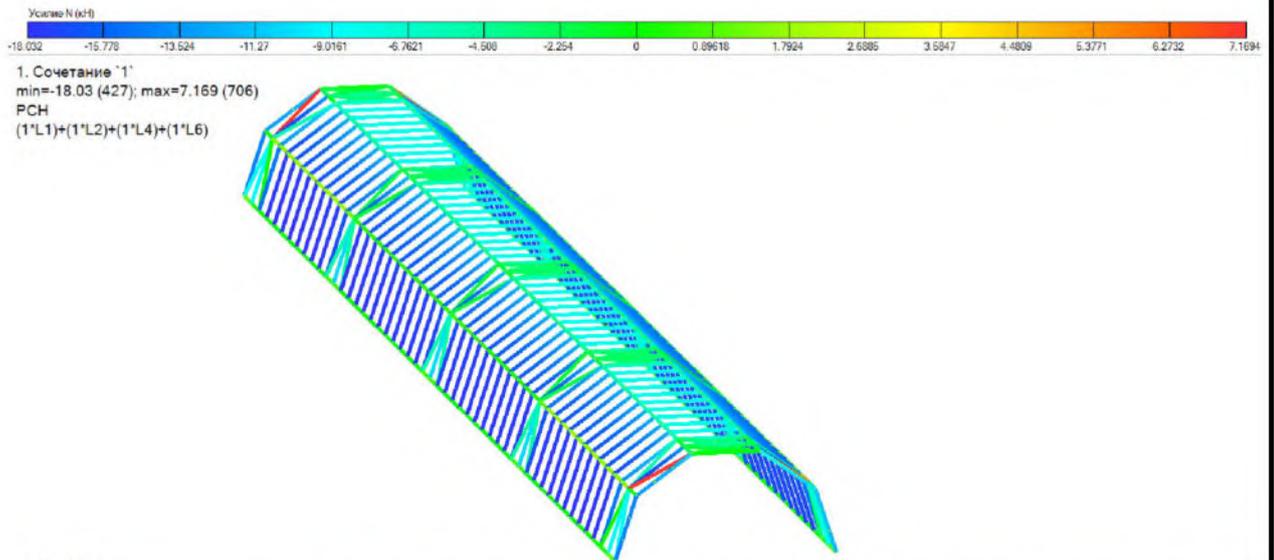
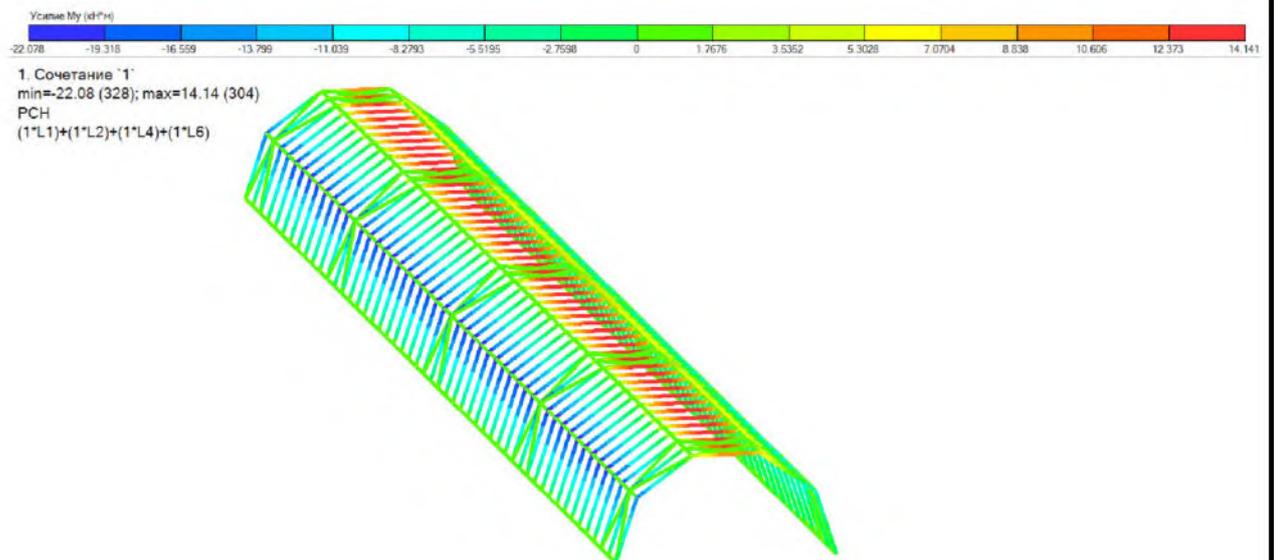


Рисунок 33 – Усилия N от двух сочетания (max -21,504 кН)



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

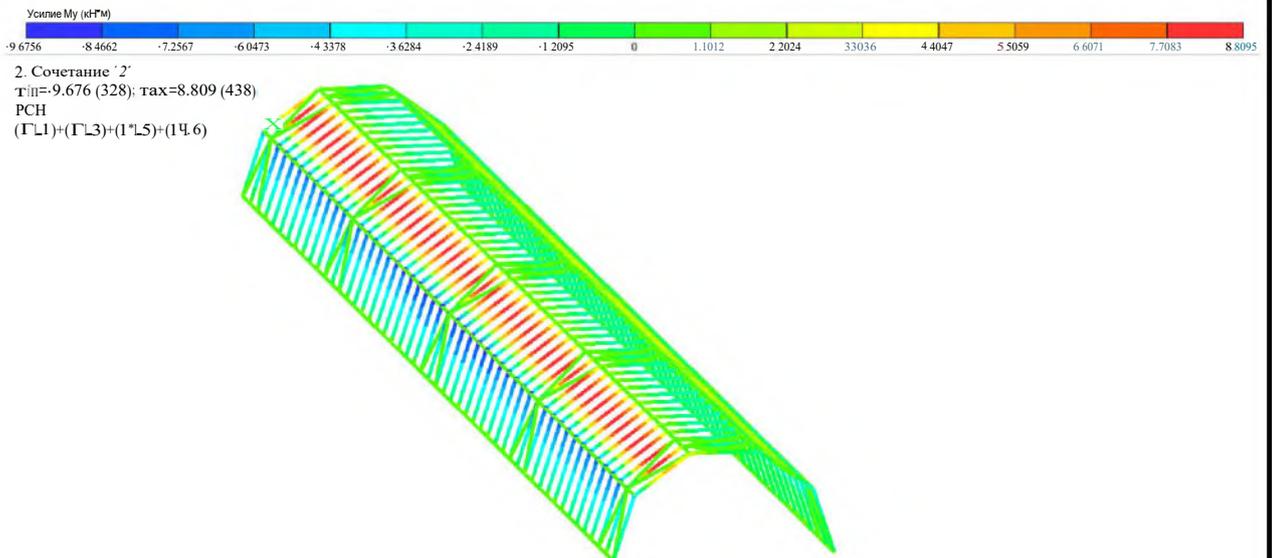


Рисунок 34 - Усилия M_u от двух сочетания (тах -22,078 кН*м)

Произведем проверку сечения на прочность по формуле:

$$\left| \frac{N}{A_{ус}} + \frac{M_{ус}}{W} \right| \leq Y_u, \quad (5)$$

где N - продольное усилие, кН;

M_u - усилие изгибающего момента, кН*м;

A - площадь поперечного сечения, м²;

W - момент сопротивления сечения, м³;

u_c - к-т работы;

Y_u - расчетное сопротивление материала на изгиб, МПа.

$$N = -21,504 \text{ кН};$$

$$M_u = 22,078 \text{ кН*м};$$

$$A = 0,004863 \text{ м}^2;$$

$$W = \frac{b a^3 - b_2 a_2^3}{6a} = \frac{0,04 * 0,083^3 - 0,024 * 0,0643^3}{6 * 0,18} = 0,00025 \text{ м}^3$$

$$u_c = 1;$$

$$Y_u = 226,9 \text{ МПа} = 226900 \text{ кПа}.$$

$$\left| \frac{-21,504}{0,004863} + \frac{-22,078}{0,00025} \right| = 92733,962 \text{ кПа} < 226900 \text{ кПа}.$$

Коэффициент использования сечения составляет 40,87%.

2.1.3 Арка с разбивкой на 4 секций

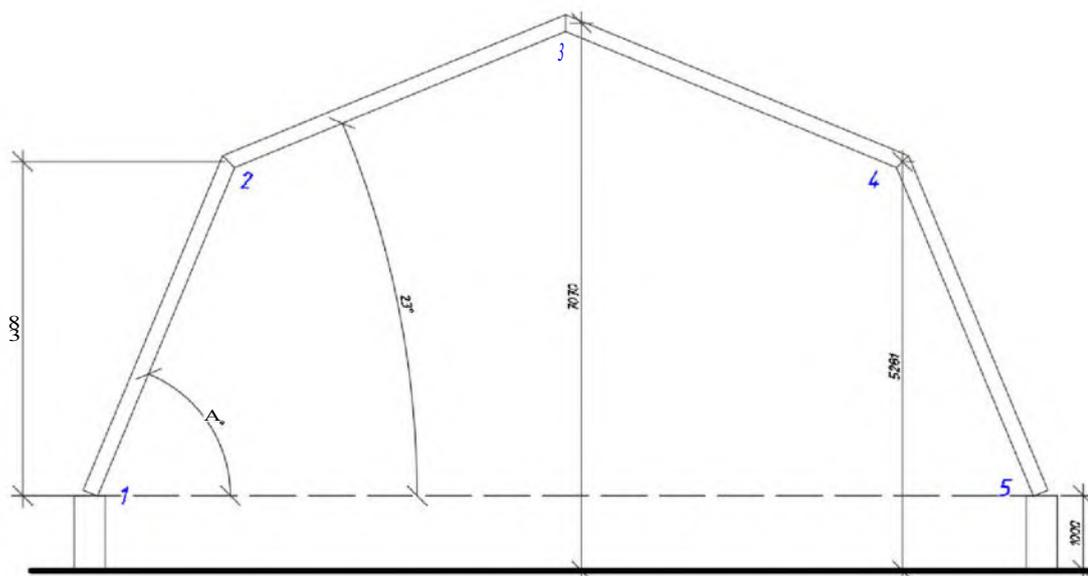


Рисунок 35 - Арка с разбивкой на 4 секции

Сбор нагрузок:

а) Снеговые нагрузки:

Сбор снеговых нагрузок производится аналогично п. 2.1.1.

Таблица 9 - Коэффициенты μ_1 и μ_2 для арки с разбивкой на 10 частей

Угол, град.	μ_1	μ_2
23	0,82413	1,86716
0	1	0

б) Ветровые нагрузки:

Сбор ветровых нагрузок производится аналогично и. 2.1.1.

Таблица 10 - Аэродинамические коэффициенты

Коэффициент	Значение
C_{e1}	0,8
C_{e2}	-1,2
C_{e3}	-0,4

Таблица 11 - Расчет усилий ветрового воздействия для типа местности А

№ эл-та на рис. 35	Высота от ур. земли, м	Высота z_e , м	К-т $K(z_e)$	Нормативная нагрузка ветрового давления, $кН/м^2$
1-2	5,281	3,9967	0,75	0,228
2-3	7,07	5,249	0,763	-0,348
3-4	5,281	3,9967	0,75	-0,114

Изм.	Лист	№ Закум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Создание расчетной схемы:
Была создана расчетная схема, аналогичная п. 2.1.1, изменена форма арок и связей.

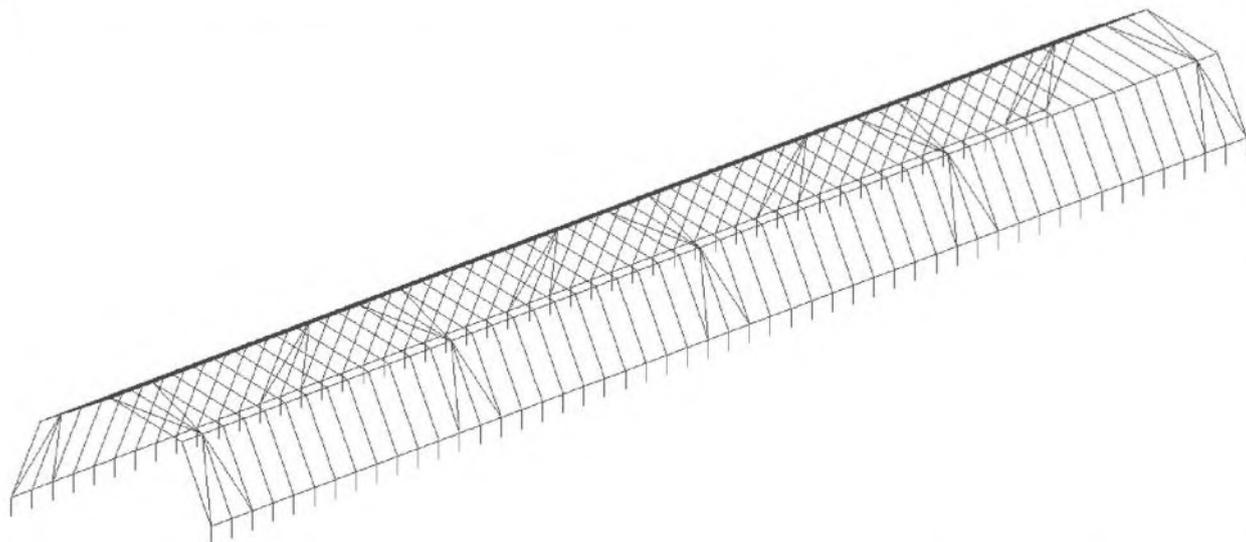


Рисунок 36 – Расчетная схема туннеля с арками из 4 частей

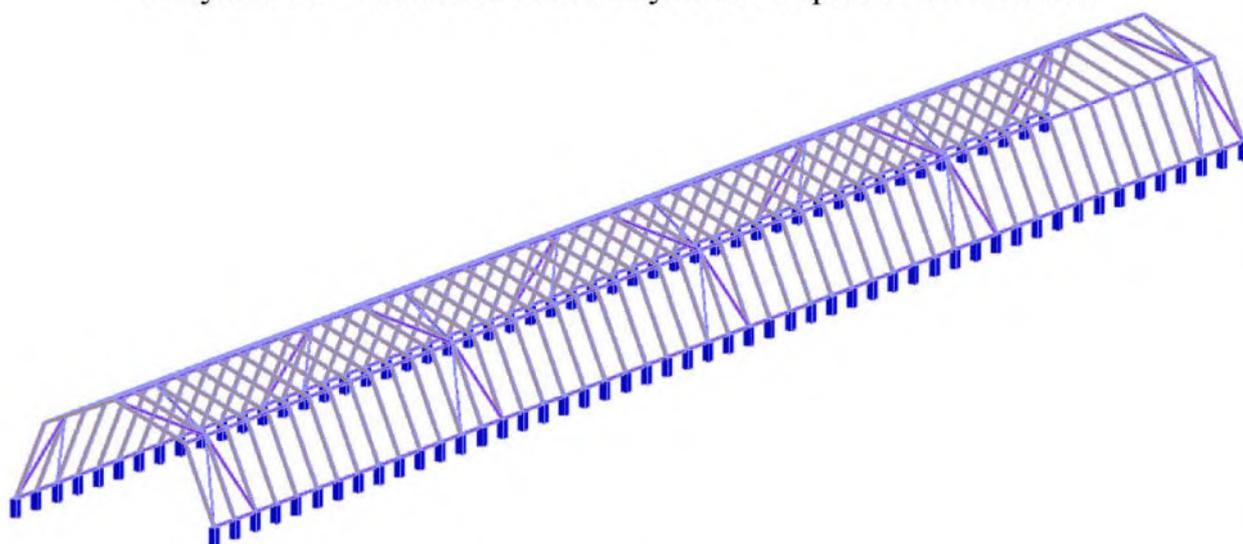


Рисунок 37 – 3D визуализация расчетной схемы туннеля с арками из 4 частей

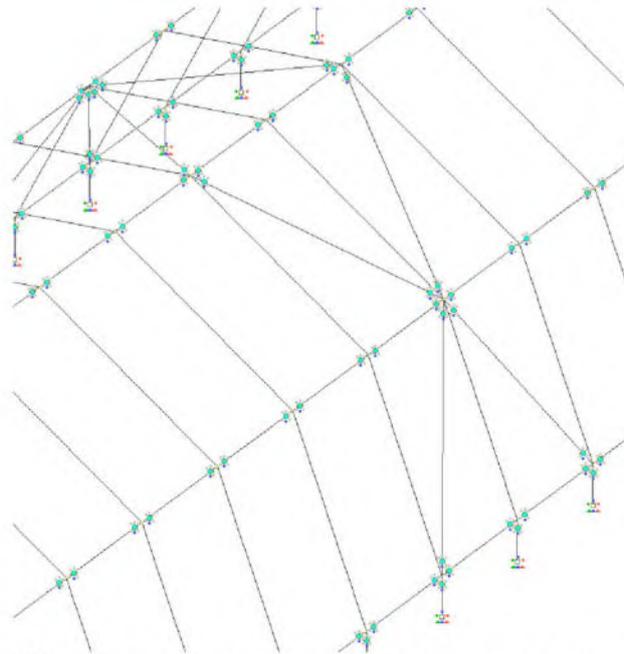


Рисунок 38 – Фрагмент туннеля с визуализацией связей

Значения нагрузок на рисунках в тс/м²

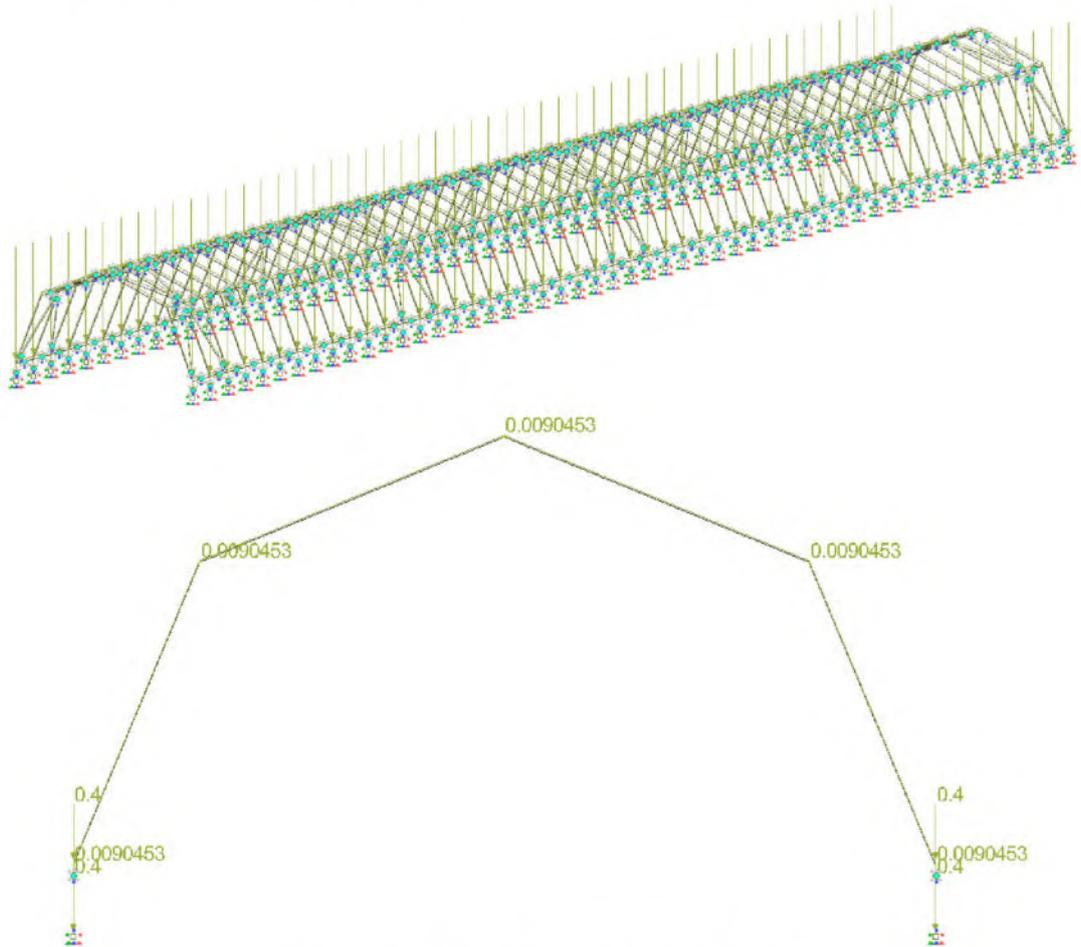


Рисунок 39 – Собственный вес

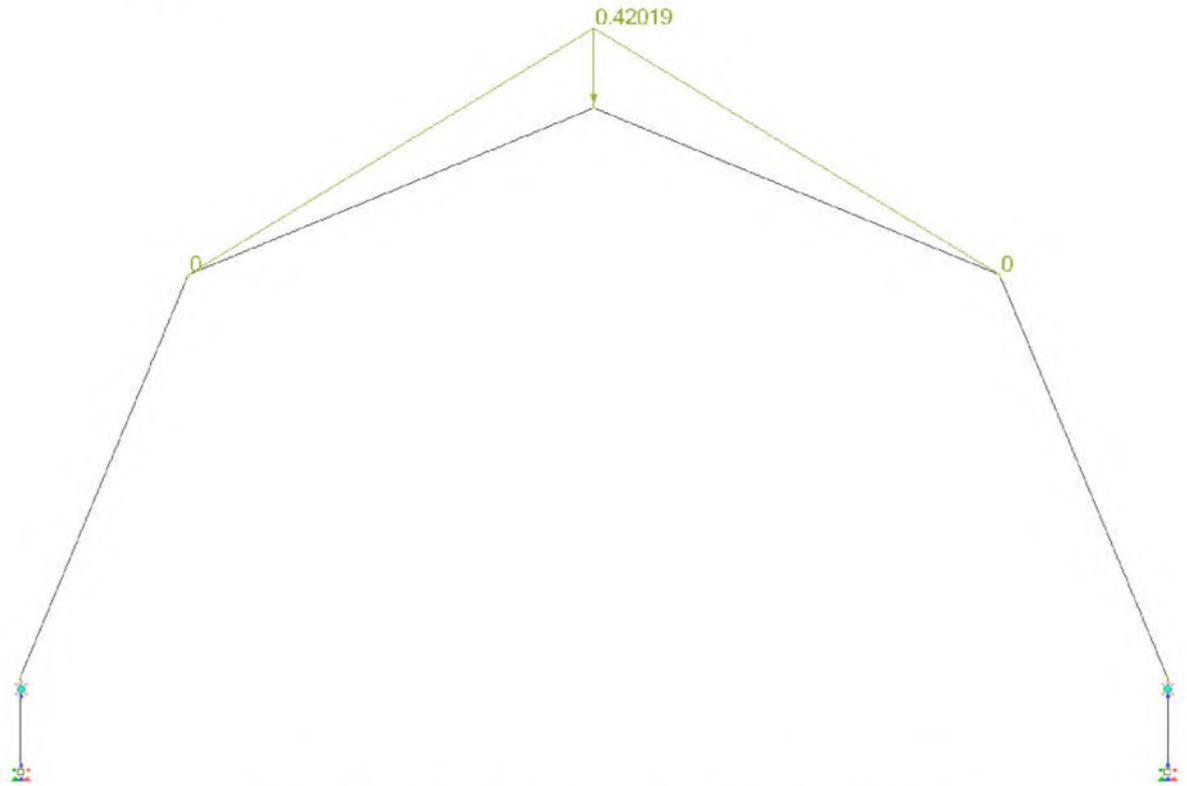
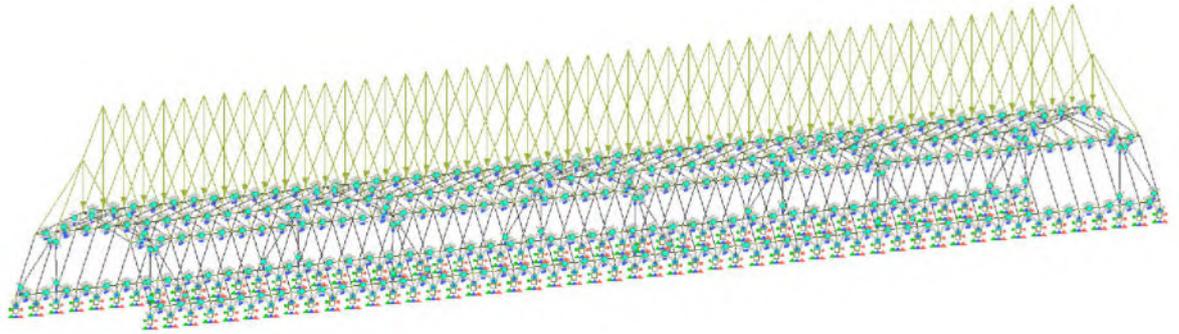


Рисунок 40 – 1 вариация снеговой нагрузки

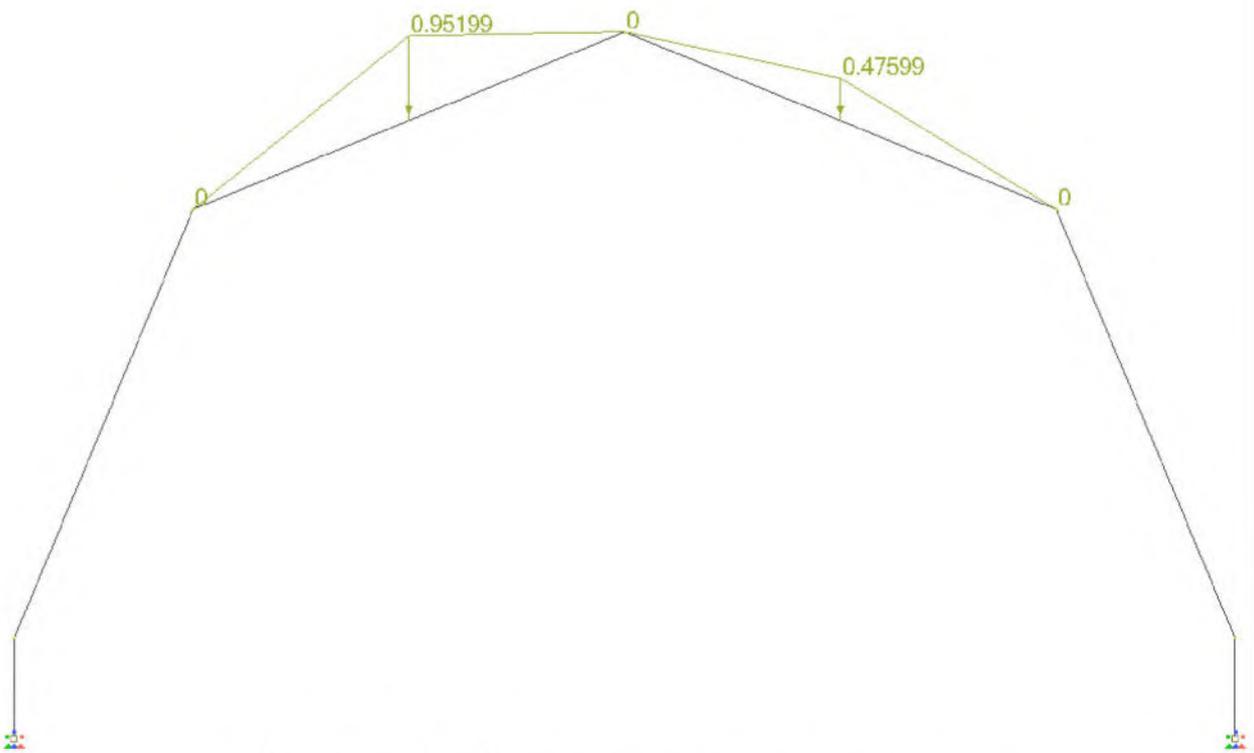
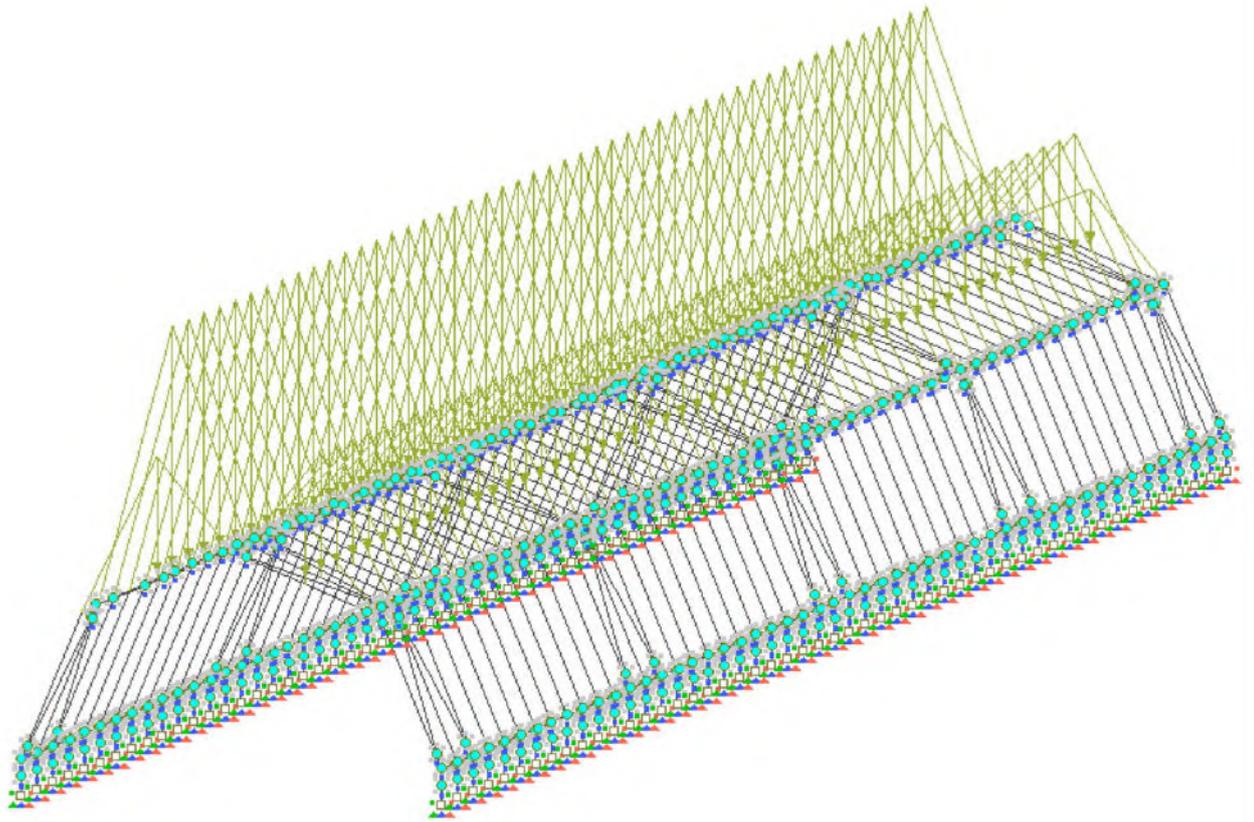


Рисунок 41 – 2 вариация снеговой нагрузки

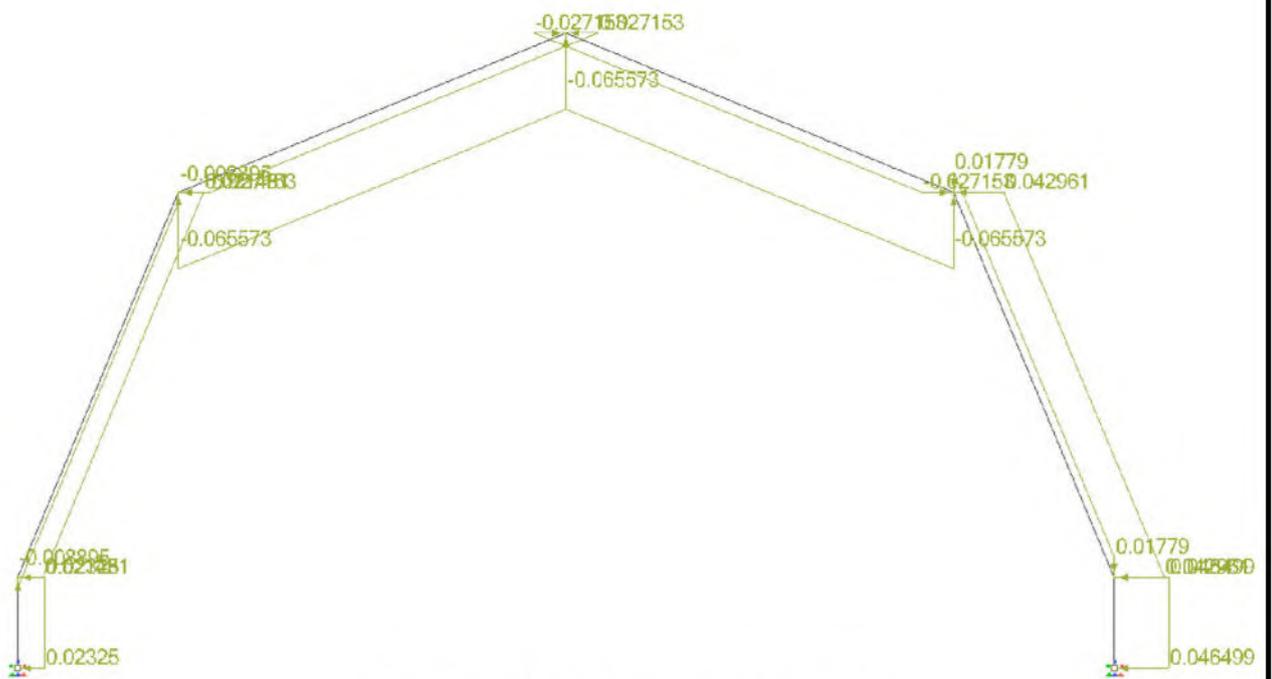
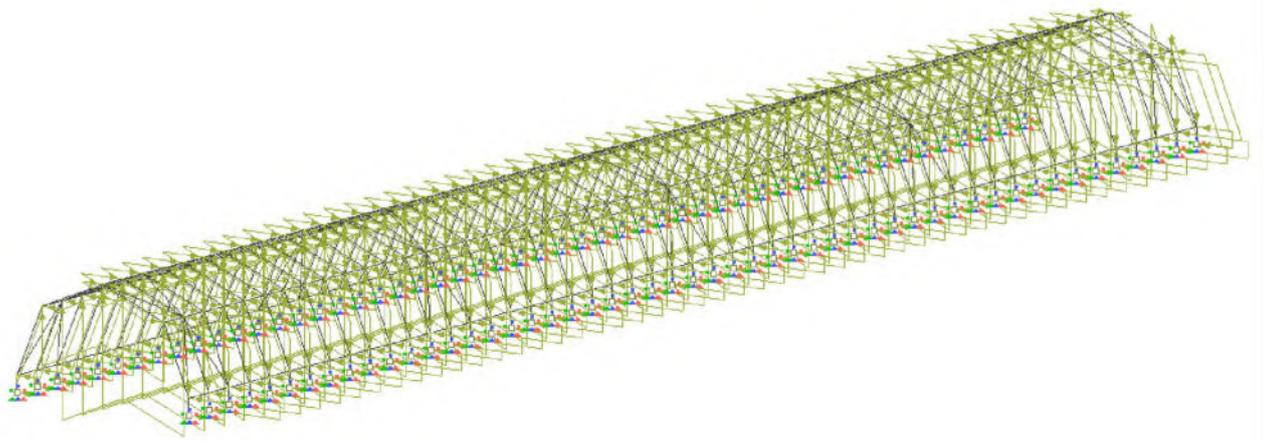


Рисунок 42 – Ветровая нагрузка

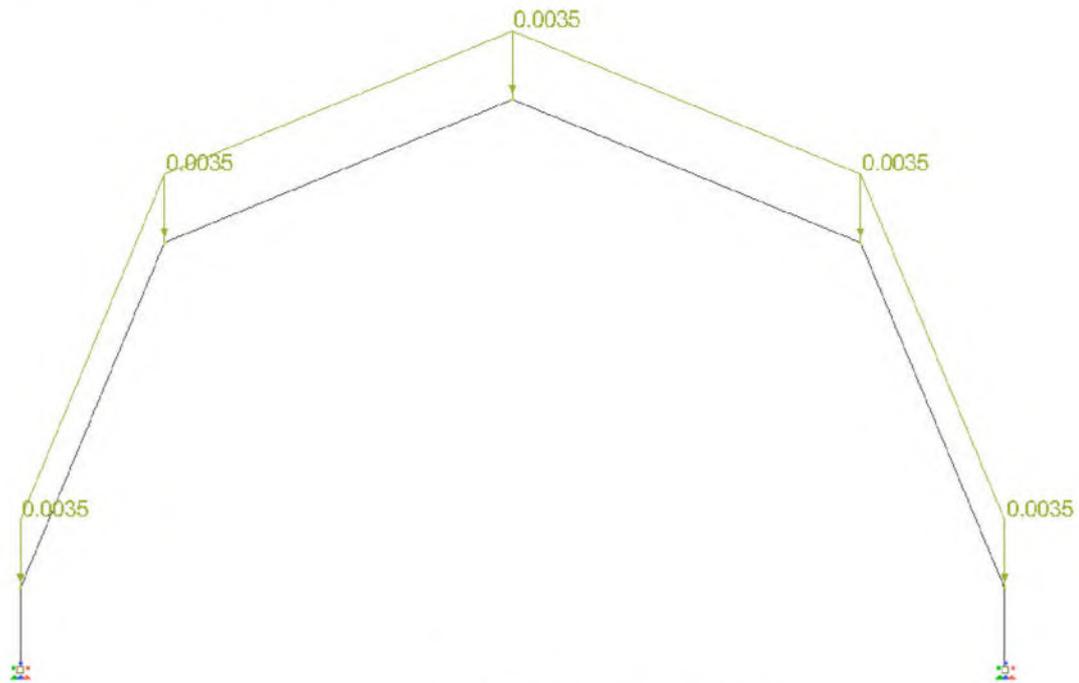
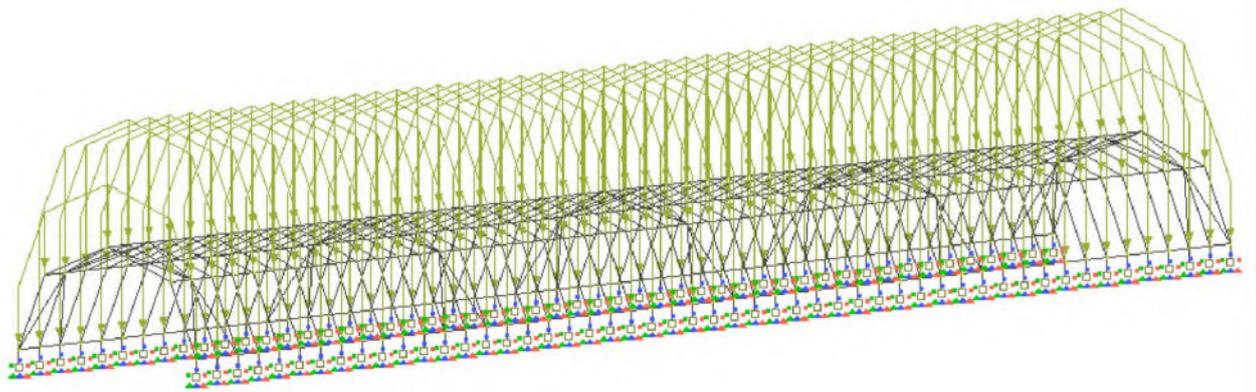


Рисунок 43 – Вес пленки

Расчет и подбор сечений:

В качестве основных несущих конструкций было подобрано сечение из стеклопластика в виде коробки размером 100x180x8 мм.

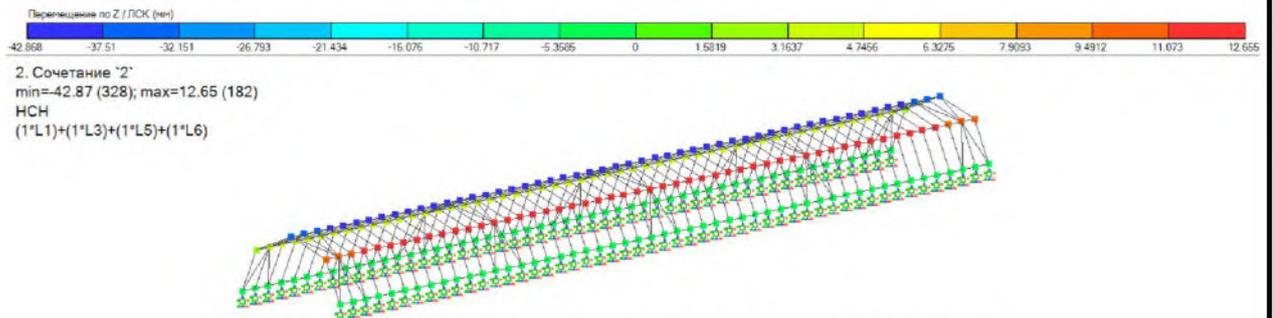


Рисунок 44 – Перемещения по Z (max -42,868 мм)

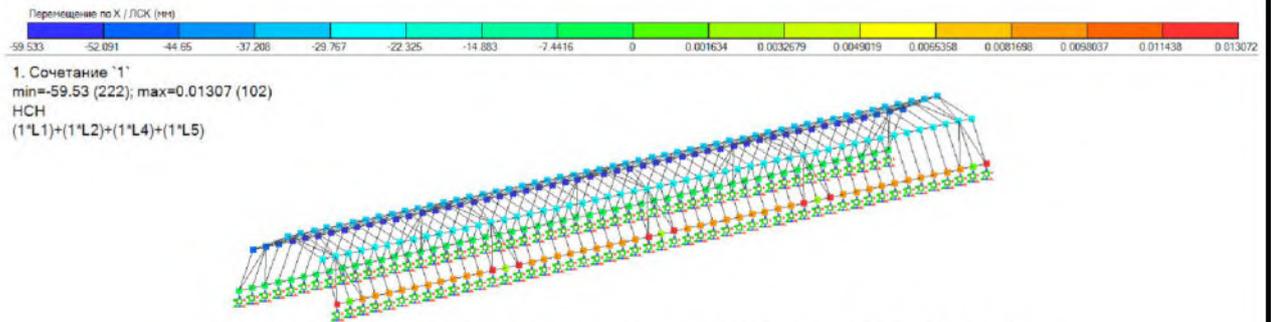


Рисунок 45 – Перемещения по X (max -59,533 мм)

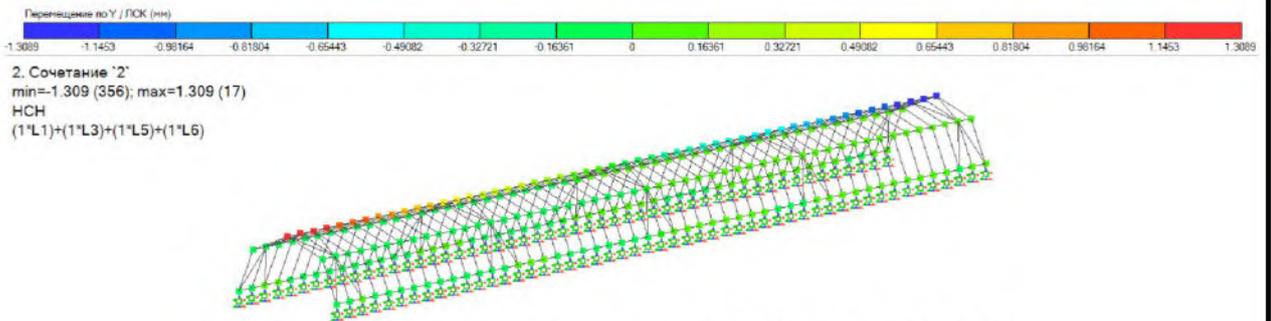


Рисунок 46 – Перемещения по Y (max 1,309 мм)

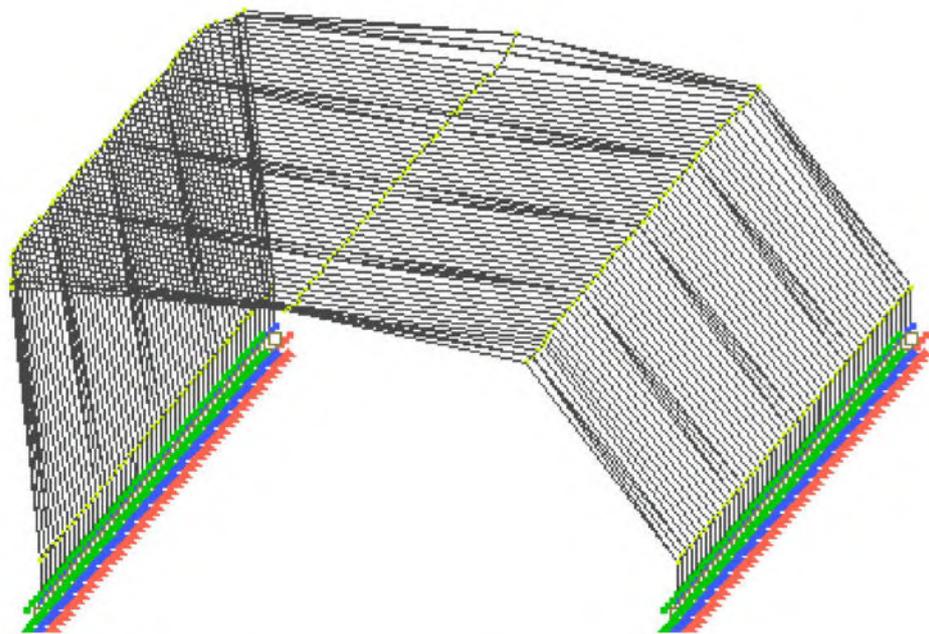


Рисунок 47 – Деформированная расчетная схема от сочетания нагрузок 1

Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

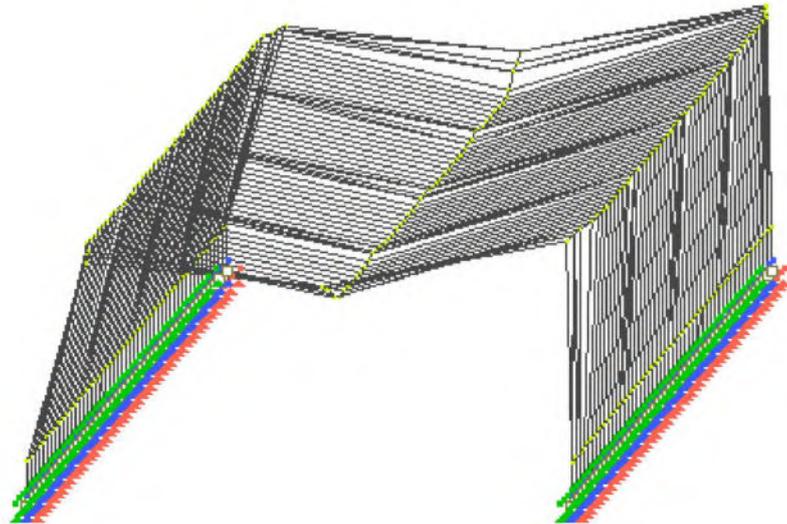
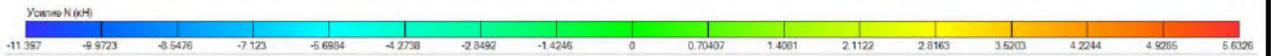
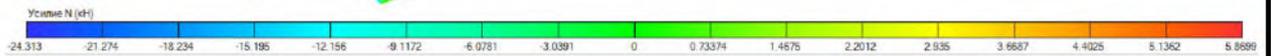
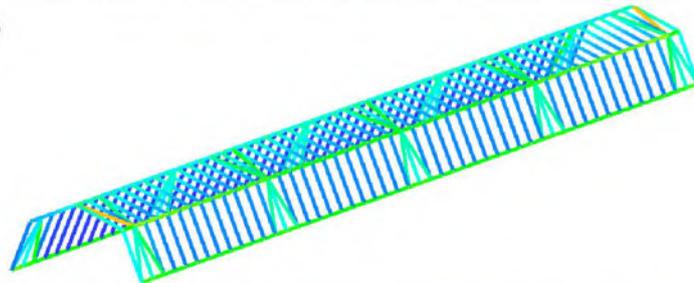


Рисунок 48 – Деформированная расчетная схема от сочетания нагрузок 2



1. Сочетание "1"
 min=-11.4 (404); max=5.633 (32)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L4)+(1*L5)



2. Сочетание "2"
 min=-24.31 (52); max=5.87 (586)
 РСН
 (1*L1)+(1*L3)+(1*L5)+(1*L6)

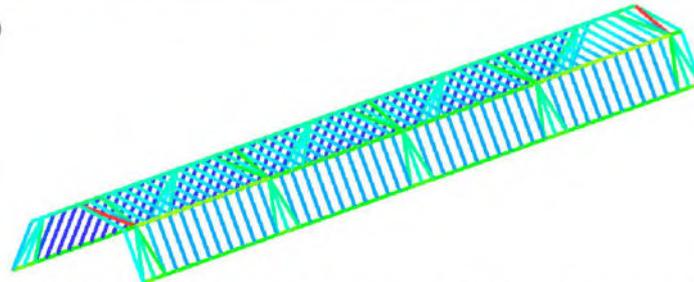
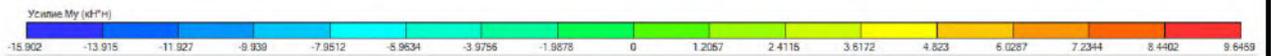
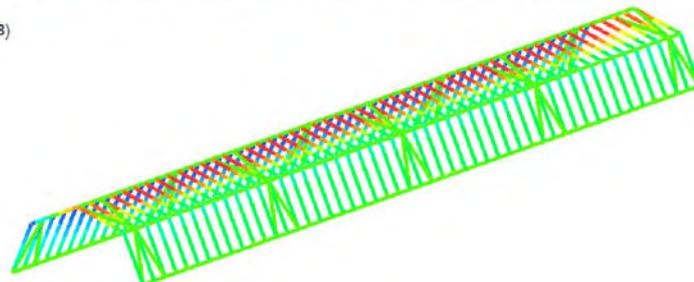


Рисунок 49 – Усилия N от двух сочетания (max -24,313 кН)



1. Сочетание "1"
 min=-15.9 (284); max=9.646 (418)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L4)+(1*L5)



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

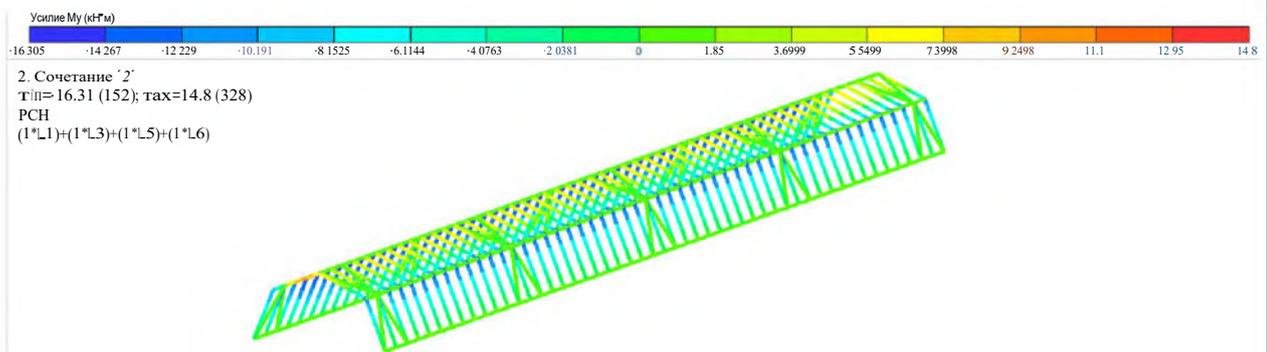


Рисунок 50 - Усилия M_y от двух сочетания (тах - 16,305 кН*м)

Произведем проверку сечения на прочность по формуле:

$$\left| \frac{N}{A_{yc}} + \frac{-I \wedge}{\gamma \gamma_{yc}} \right| \leq K_y, \quad (6)$$

где N - продольное усилие, кН;

M_y - усилие изгибающего момента, кН*м;

A - площадь поперечного сечения, m^2 ;

γ - момент сопротивления сечения, m^3 ;

γ_c - к-т работы;

K_y - расчетное сопротивление материала на изгиб, МПа.

$$N = -24,313 \text{ кН};$$

$$M_y = 16,305 \text{ кН*м};$$

$$A = 0,004224 \text{ м}^2;$$

$$\gamma = \frac{B a^3 - B_{\pm} a I}{6 a} = \frac{0,084 * 0,18^3 - 0,084 * 0,0643}{6 * 0,18} = 0,000197 \text{ м}^3$$

$$\gamma_c = 1;$$

$$K_y = 226,9 \text{ МПа} = 226900 \text{ кПа}.$$

$$\left| \frac{-24,313}{0,004224} + \frac{-16,305}{0,000197} \right| = 88522,42 \text{ кПа} < 226900 \text{ кПа}.$$

Коэффициент использования сечения составляет 39,01%.

2.1.4. Стрельчатая арка

Произведем расчет геометрических характеристик стрельчатой арки при пролете $l = 12$ м; стреле подъема $l = 6$ м:

Длина хорды полуарки:

$$l_0 = \sqrt{l^2 + (0,5l)^2} = \sqrt{12^2 + (0,5 * 12)^2} = 8,485 \text{ м} \quad (7)$$

Стрела подьема дуги полуарки:

$$l_0 = \frac{l_0}{15} = 0,566 \ll 1 \text{ м} \quad (8)$$

Длина дуги полуарки:

$$s = \sqrt{102 + 16 \blacksquare} = \sqrt{8,4852 + 16 \blacksquare} = 8,794 \text{ м} \quad (9)$$

Радиус кривизны оси полуарки:

$$r = \frac{l_0 \blacksquare}{810} + \frac{c}{2} = \frac{8,4852}{8 \cdot 1} + \frac{1}{2} = 9,5 \text{ м} \quad (10)$$

Угол раствора полуарки:

$$s \text{ К?}) = \frac{l_0}{2r} = \frac{8,485}{2 \cdot 9,5} = 0,447 \quad (\text{II})$$

$$\blacksquare = \arcsin(0,447) = 26,525^\circ$$

$$\Phi = 53,05^\circ$$

Угол наклона хорды полуарки к горизонту:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{0,5l} = \frac{6}{0,5 \cdot 12} = 1 \quad (12)$$

$$a = \operatorname{arctg}(1) = 45^\circ$$

Угол φ_0 наклона радиуса, проходящего через опору арки:

$$\varphi_0 = 90^\circ - a - \frac{\Phi}{2} = 90^\circ - 45^\circ - \frac{53,05^\circ}{2} = 18,475^\circ$$

Таблица 12 - Вычисление координат узлов стрельчатой арки

№ сечения	$\pi \varphi_1$	Φ_n	$\cos \varphi_n$	$\sin \varphi_n$	$r \cos \varphi_n$	$r \sin \varphi_n$	x_n	y_n
0	0	18,475	0,948	0,317	9,010	3,010	0	0
1	10,610	29,085	0,874	0,486	8,302	4,618	0,708	1,608
2	21,220	39,695	0,769	0,639	7,310	6,068	1,701	3,057
3	31,830	50,305	0,639	0,769	6,068	7,310	2,943	4,299
4	42,441	60,915	0,486	0,874	4,618	8,302	4,392	5,292
5	53,051	71,525	0,317	0,948	3,010	9,010	6	6

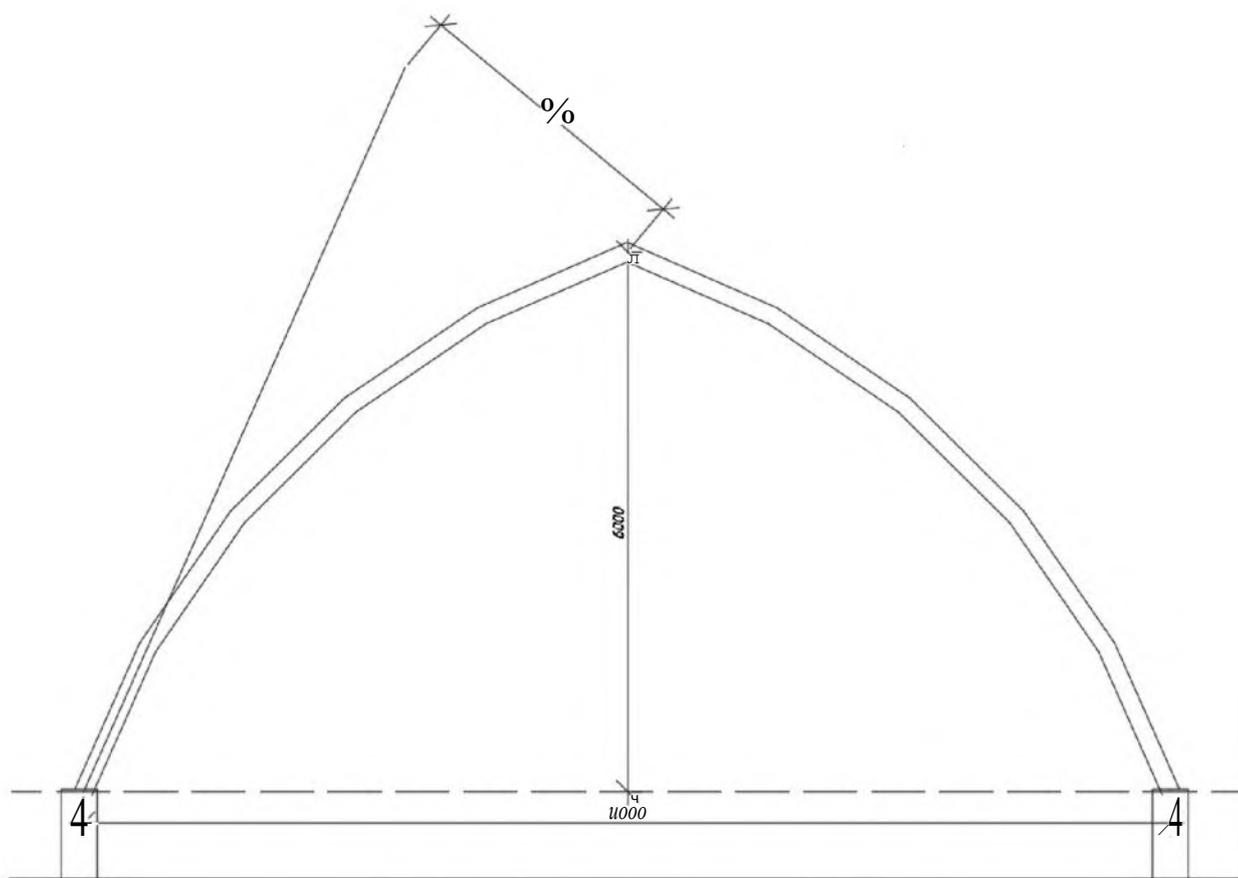


Рисунок 51 - Стрельчатая арка

Завод-изготовитель готов изготавливать стержни нужной формы при условии крупного заказа. Для проведения эксперимента изготовитель отказался производить небольшую партию, поэтому, для придания стержням необходимой формы, следует загнуть их, что повлечет за собой возникновение внутренних усилий еще на стадии возведения конструкции.

На рис. 51 указано расстояние, на которое необходимо переместить верхний узел прямого стержня для придания ему формы полуарки. Предположим, что мы используем сечение 180x200x8 мм. В ПК Лира-Софт создадим стержень необходимой длины (8,794 м) и зададим перемещение крайнего узла.

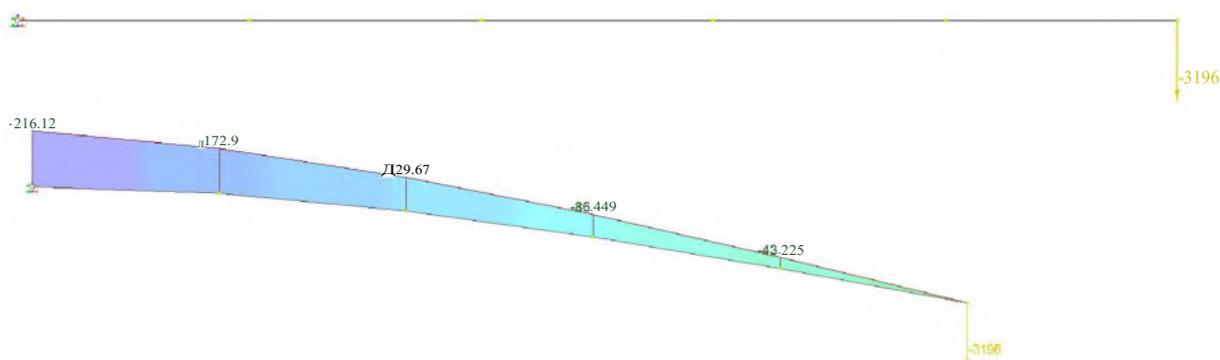


Рисунок 52 - Заданное перемещение крайнего узла стержня

Как видно из рис. 52, максимальный изгибающий момент в стержне составляет 216,12 кН*м. Произведем проверку прочности сечения:

$$\frac{M_y}{I_{yc}} \leq H_y, \quad (13)$$

где M_y - усилие изгибающего момента, кН*м;

I_{yc} - момент сопротивления сечения, м³;

yc - к-т работы;

H_y - расчетное сопротивление материала на изгиб, МПа.

$$I_{yc} = \frac{Ba^3 - Bga^3}{6a} = \frac{0,18 * 0,23^3 - 0,064 * 0,0843^3}{6 * 0,2} = 0,000349 \text{ м}^3$$

$$\frac{M_y}{I_{yc}} = \frac{216,16}{0,000349} = 619369,628 \text{ кПа} > H_y = 226900 \text{ кПа}$$

Коэффициент использования сечения составляет 272,97%.

Выбор формы стрельчатой арки возможен, если увеличить стрелу подъема, что, в свою очередь, повысит затраты на материалы, а большая часть туннеля не будет задействована в работе.

Данную форму арок далее рассматривать не будем.

2.2 Сравнение форм арок

Сравнение проводится по трем критериям – экономичность, легковозводимость и эффективность.

В качестве критериев экономичности будем рассматривать и сравнивать собственный вес всей 100-метровой конструкции без учета фундаментных столбиков. В качестве критериев легковозводимости – количество узлов и элементов в одной арке. Критерий эффективности - отношение максимального прогиба конструкции к площади сечения.

Таблица 13 - Критерии экономичности арок

Наименование	Собственный вес, т.	Кол-во узлов	Кол-во элементов	Макс. прогиб 2, мм	Площадь сечения А, мм ²	$100 * \frac{7}{A}$
Из 10 частей	22,487	11	10	46,335	5824	0,796
Из 5 частей	16,394	6	5	40,94	4864	0,842
Из 4 частей	13,849	5	4	42,868	4224	1,015

По всем критериям лучше всего себя показала форма арки из 4 частей, дальнейшая работа будет производиться на основе данной формы (см. и. 2.1.3).

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закуп.	ПаЗпись	Пата		50

3 Расчет узла опирания арки

3.1 Исходные данные в приопорных стержнях

- Расчетная нормальная сила $N = - 38,496$ кН;
- Поперечная сила $Q_2 = - 12,838$ кН;
- Изгибающий момент $M_2 = - 0,362$ кН*м;
- Поперечная сила $Q_y = 0,233$ кН;
- Крутящий момент $M_x = 0,65$ кН*м;
- Размеры сечения арки: Высота 200 мм, ширина 180 мм, толщина стенки 8мм;
- Материал шарнирного узла опирания - сталь марки С390 (см. таблицу 14);
- Предел прочности стеклопластика на смятие - 150 МПа.

Таблица 14 - Характеристики стали С390

Характеристика	Обоснование	Значение
U_m	К-т надежности по материалу	1,025
$K_{ИП}$	Временное сопротивление	540 МПа
$K_{уП}$	Предел текучести	390 МПа
K_y	Предел текучести при растяжении, сжатии или изгибе	380,5 МПа
$K_{И}$	Предел по временному сопротивлению при растяжении, сжатии или изгибе	526,83 МПа
$Я_3$	Сопротивление стали при сдвиге	305,56 МПа
K_p	Сопротивление стали смятию торцевой поверхности	526,83 МПа
R_{Ip}	Сопротивление стали смятию в цилиндрических шарнирах при плотном касании	263,42 МПа
$K_{сст}$	Сопротивление стали при диаметральном сжатии катков	13,17 МПа
R_{th}	Сопротивление стали при растяжении в направлении толщины проката (до 60мм)	263,42 МПа

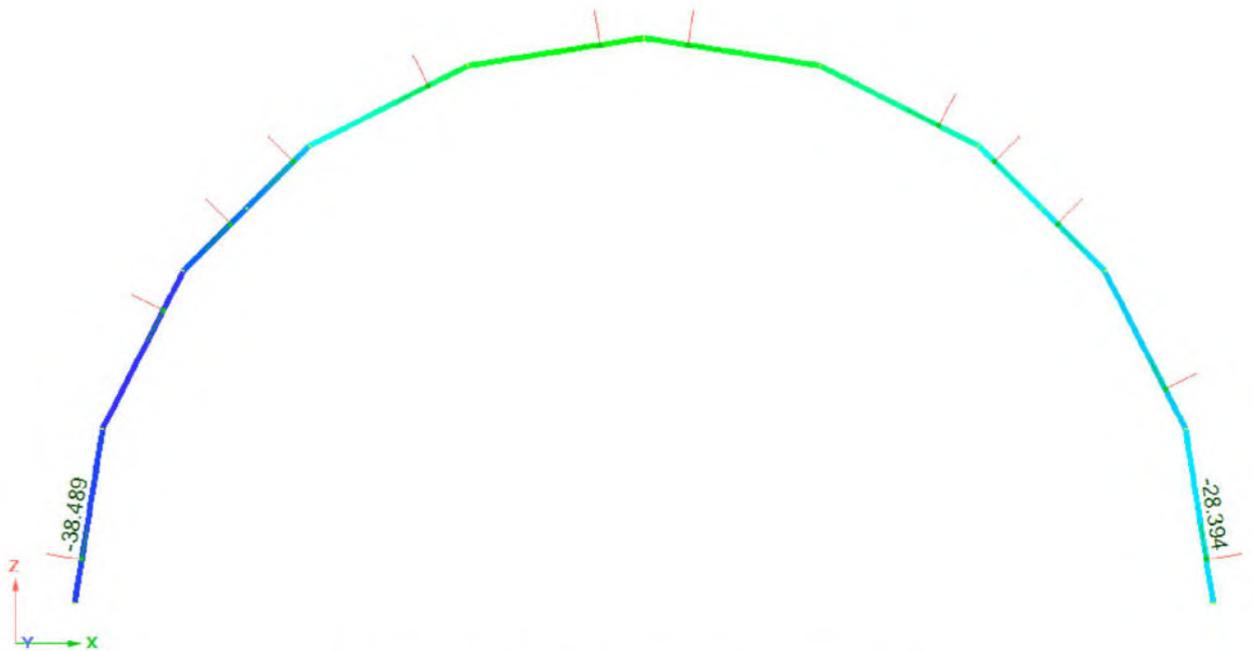


Рисунок 53 – Продольное усилие N

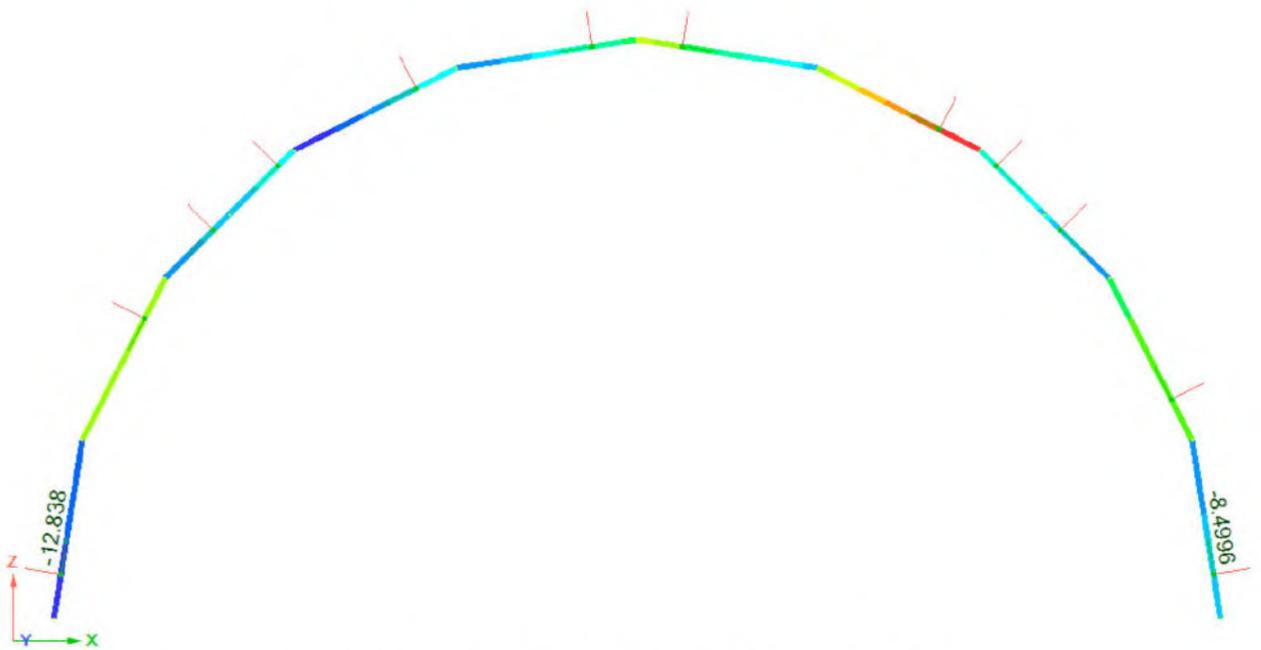


Рисунок 54 – Поперечное усилие Q_z

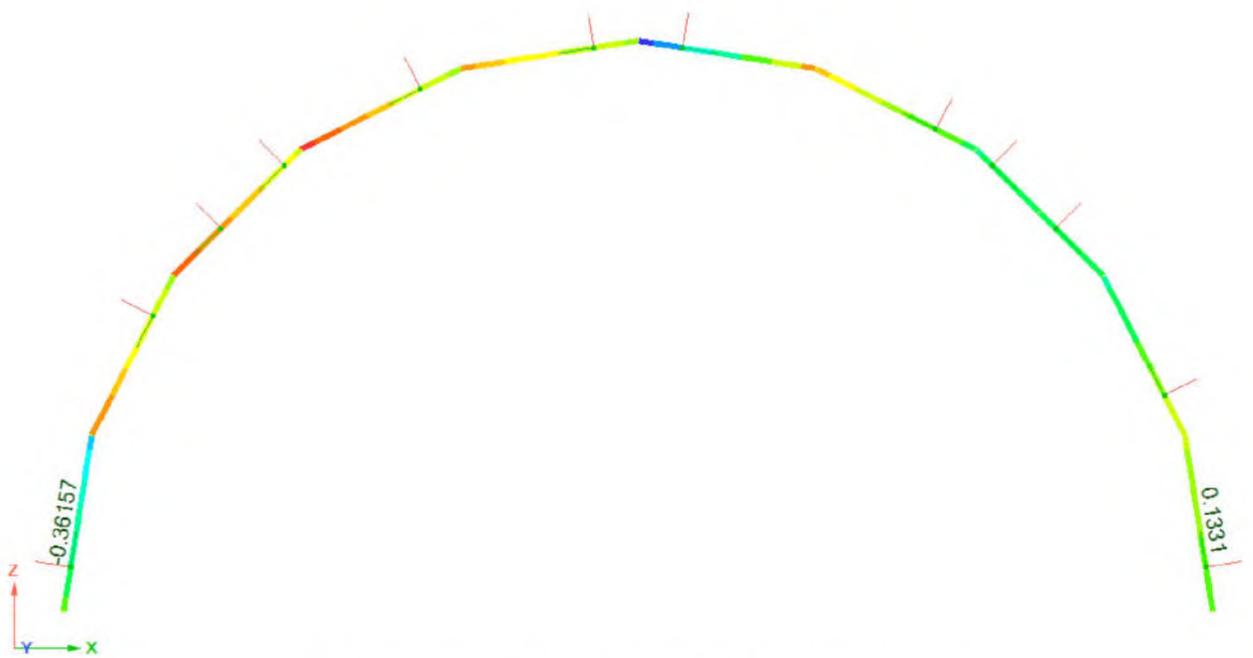


Рисунок 55 – Изгибающий момент M_z

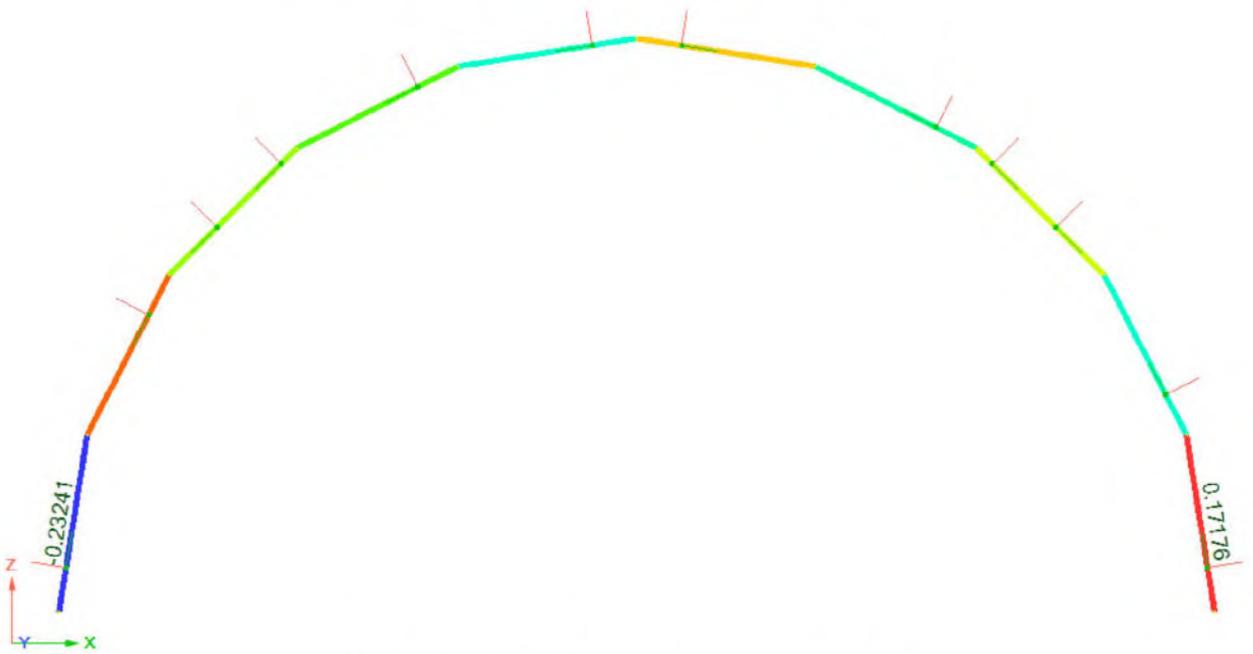


Рисунок 56 – Поперечное усилие Q_y

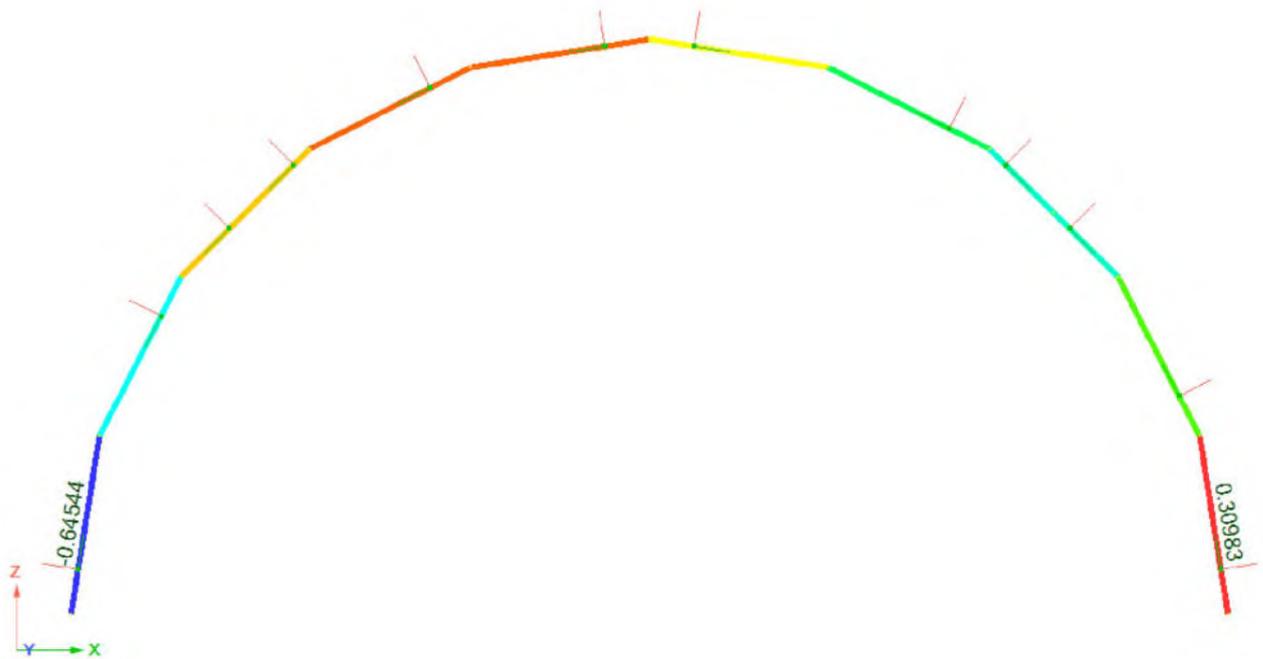


Рисунок 57 - Крутящий момент M_x

3.2 Расчет узла

Подбор болтов и их количества для закрепления несущего стержня арки в башмаке.

Количество болтов определяем из расчета на срез и смятие. Диаметр и класс болтов определим из расчета на изгиб. Найдем несущую способность болта М12 с классом прочности 5.6 на срез, т.к. класс 5.6 является минимальным:

$$N_{B3} = N_{B3} \wedge L_b \wedge n_3 \wedge y_b \wedge y_c \quad (14)$$

где N_{B3} — несущая способность одного болта на срез;

R_{bs} — расчетное сопротивление болта на срез [6, Г.5];

L_b — площадь сечения болта брутто;

n_3 — число срезов одного болта;

y_b — коэффициент условия работы болтового соединения [6, т.41]

y_c — коэффициент условия работы [6, т.1].

$$K_3^{I2} = 210000 * 0,000113 * 2 * 1 * 1,1 = 52,206 \text{ кН}$$

Определим несущую способность болта М12 с классом прочности 5.6 на смятие:

$$N_{Bp} = K_{p3} \wedge T \wedge L \wedge y_c, \quad (15)$$

где N_{bP} — несущая способность одного болта на смятие;

$K_{bp} = 1,35 \cdot K_{и}$ — расчетное сопротивление болта на смятие;

d_b — наружный диаметр стрежня болта;

I^* — наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении.

$$K_{bP} = 1,35 \cdot \frac{500}{1,025} = 658,54 \text{ МПа}$$

$$N_{bP} = 658540 \cdot 0,008 \cdot 0,012 \cdot 1 \cdot 1,1 = 69,542 \text{ кН}$$

По результатам расчета достаточно одного болта М12. Но для обеспечения устойчивого крепления, примем 2 болта М12 с классом прочности 5.6 согласно таблице Г.3 СП 16.13330.2017 длиной 100 мм по ГОСТ 7798-70 из стали 09Г2С-4 согласно таблице Г.4 СП 16.13330.2017.

Определим напряжения от изгиба в двух направлениях для 1 болта:

$$\sigma = \frac{M_y + M_z}{I_{л}} \quad (16)$$

Вычислим значения M_y и M_z :

$$M_y = \frac{W_{нагр}}{2 \cdot 0,18} \cdot 0,09 = \frac{0,362}{2 \cdot 0,18} \cdot 0,09 = 0,0905 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_z = \frac{M_x^{нагр}}{2 \cdot 0,18} \cdot 0,09 = \frac{0,65}{2 \cdot 0,18} \cdot 0,09 = 0,1625 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$I_{л} = \frac{m \cdot P}{32} = \frac{l \cdot 0,0123}{32} = 0,00000017 \text{ м}^3$$

$$\sigma = \frac{0,0905 + 0,1625}{0,00000017} = 1488235 \text{ кПа} = 1488,235 \text{ МПа.}$$

$$1488,235 \text{ МПа} \gg K_{и}^{болта} = 500 \text{ МПа.}$$

По результатам расчета, диаметр и класс болтов недостаточны. Выберем класс болтов 12.9 согласно таблице Г.3 СП 16.13330.2017. Диаметр вычислим из условия:

$$\frac{(0,0905 + 0,1625) \cdot 32}{m \cdot P} \leq 900000 \text{ кПа}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{(0,0905 + 0,1625) \cdot 32}{900000 \cdot \pi}} = 0,0142 \text{ м}$$

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		55

Принимаем болт М16. Тогда:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi * 0,0163}{32} = 0,000000402 \text{ м}^3$$
$$\sigma = \frac{0,0905 + 0,1625}{0,000000402} = 629353 \text{ кПа} = 629,353 \text{ МПа} < \sigma_{\text{болта}} = 900 \text{ МПа}$$

Проверка стеклопластика на смятие [6]:

$$\frac{M}{A} \ll \sigma_{\text{СтПл}}, \quad (17)$$

Определим площадь смятия стеклопластика от одного болта:

$$A_{15} = 2l * \frac{m}{2} = 2 * 0,008 * \frac{3,14 * 0,016}{2} = 0,00040192 \text{ м}^2 \quad (18)$$

Для двух болтов $A_{26} = 0,00080384 \text{ м}^2$.

Напряжение смятия:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,496}{0,00080384} = 47890 \text{ кПа} = 47,89 \text{ МПа} < 150 \text{ МПа} \quad (19)$$

3.3 Подбор размеров боковых граней башмака

Исходя из размеров закрепляемого сечения, ширина грани принимается равной 200 мм. Необходимо найти высоту и толщину сечения.

Произведем расчет на прочность грани при центральном сжатии по формуле [6]:

$$\frac{N}{4h^2 \sigma_{\text{Ус}}} \leq 1, \quad (20)$$

Из данной формулы необходимо найти площадь, при котором будет выполняться условие прочности. Затем найдем толщину грани.

Так как граней две, нагрузку N следует уменьшить в 2 раза.

$$A_n = \frac{0,5 * 38,496}{380,5 * \sigma^3 * 1,1} = 0,000046 \text{ м}^2$$

Отсюда найдем толщину грани:

$$A_n = \frac{N_{\text{грани}}}{2} \quad (21)$$

$$l_{\text{границ}} = \frac{2An}{\pi d_{\text{болта}}} = \frac{2 * 0,000046}{3,14 * 0,012} = 0,00244 \text{ м}$$

Т.к. минимальная толщина проката стали С390 составляет 4мм, принимаем толщину 4мм.

Высоту грани конструктивно принимаем равной 100 мм.

Произведем проверку боковой грани башмака на изгиб от действия изгибающего момента M_2 :

$$\frac{M}{W_{*yc}} \leq R_y = 380,5 \text{ МПа} \quad (22)$$

$$W = \frac{Bl^2}{6} = \frac{0,004 * 0,12}{6} = 0,0000067 \text{ м}^3 \quad (23)$$

$$\frac{0,362}{0,0000067 * 1} = 54\,029,851 = 54,029 \text{ МПа} < 380,5 \text{ МПа}$$

Также проверим грани на смятие от болтов:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{9,624}{0,000075} = 128320 \text{ кПа} = 128,32 \text{ МПа} < K_{lp} = 263,42 \text{ МПа}$$

3.4 Определение размеров опорной плиты башмака

Т.к. необходимо закрепить сечение высотой 200 мм и шириной 180 мм, опорная плита башмака имеет размеры 220x210 мм (по 10 мм с каждой стороны дополнительно для удобства сварки + 5 мм с двух сторон, учитывая толщину боковых граней башмака).

Опорная плита башмака подвергается изгибу из-за приходящих от боковых граней усилий. Определим толщину сечения плиты из условия [6, п. 7.1.1]:

$$\frac{M}{W_{*yc}} \leq K_y, \quad (24)$$

$$W = \frac{Bl^2}{6} = \frac{0,092 K^2}{6}$$

Определим величину изгибающих моментов, представив плиту в виде балки:

$$M = \frac{38,496}{2} * \frac{0,184}{2} = 1,771 \text{ кН * м}$$

Подставим все значения и выразим толщину:

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		57

$$\frac{6 * 1,771}{0,092K^2 * 1} \leq 380500$$

$$0,092K^2 * 1,1 * 380500 = 6 * 1,771$$

$$K^2 = \frac{6 * 1,771}{0,092 * 1 * 380500}$$

$$K = \sqrt{\frac{6 * 1,771}{0,092 * 1 * 380500}} = 0,0174 \text{ м}$$

Принимаем толщину опорной плиты башмака равную 20 мм.

$$W = \frac{Bk^2}{6} = \frac{0,092 * 0,022}{6} = 0,00000613 \text{ м}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{147 * y_c} = \frac{1,771}{0,00000613 * 1} = 288750 \text{ кПа} < K_y = 380,5 \text{ МПа}$$

3.5 Определение размеров проушин

Проушины воспринимают сжимающие и изгибающие усилия. Найдем их толщину [6, п. 7.1.1].

$$\frac{N}{A_n K_y y_c} \leq 1, \quad (25)$$

$$A_n = A_{пр.б} * 0,2 \quad (26)$$

$$A_{пр.б} = \frac{N}{0,2 K_y y_c} = \frac{37,626}{0,2 * 380,5 * 103 * 10^{-3}} = 0,00045 \text{ м} \quad (27)$$

Принимаем толщину проушины равной 4 мм. Высоту проушины принимаем конструктивно равной 100 мм.

Проверим проушину на изгиб:

$$\sigma = \frac{M}{W * y_c} \leq R_y \quad (28)$$

$$147 = \frac{Bk^2}{6} = \frac{0,004 * 0,12}{6} = 0,0000067 \text{ м}^3 \quad (29)$$

$$\sigma = \frac{0,362}{0,0000067 * 1} = 54,029 \text{ МПа} < R_y = 380,5 \text{ МПа}$$

3.6 Определение диаметра шарнирного болта

Выберем болты с классом прочности 5.6 согласно таблице Г.3 СП 16.13330.2017 из стали 09Г2С-4 согласно таблице Г.4 СП 16.13330.2017.

Подберем диаметр из расчета на изгиб [6]:

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата		58

$$\frac{M}{J \cdot y_c} \leq \sigma_{br}, \quad (30)$$

$$I = \frac{n \dot{u}^3}{32}, \quad (31)$$

Плечо будет составлять половину расстояния между серединами двух крайних проушин, то есть 4 мм.

$$M = 38,496 * 0,004 = 0,154 \text{ кН} * \text{м}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M}{y_c \wedge \sigma_{br}}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 0,154}{1,1 * 658,54 * 10^3}} = 0,019 \text{ м}$$

Исходя из расчета, принимаем болт диаметром 20 мм и длиной 30 мм по таб. 2 ГОСТ 7798-70.

$$IV = \frac{y * 0,02^3}{32} = 0,000000785 \text{ м}^3$$

$$\sigma = \frac{0,154}{0,000000785 * 1} = 196178 \text{ кПа} = 196,178 \text{ МПа} < \sigma_{br} = 658,54 \text{ МПа}$$

Также проверим проушину башмака на смятие от шарнирного стержня:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,496}{0,00008} = 481200 \text{ кПа} = 481,2 \text{ МПа} > \sigma_{lp} = 263,42 \text{ МПа}$$

Необходимо увеличить толщину проушин:

$$A = \frac{N}{\sigma_{lp} \wedge y_c} = \frac{38,496}{263420 * 1} = 0,00015 \text{ м} \quad (32)$$

$$A = a * b = 0,02 * b = 0,00015 \text{ м} \quad (33)$$

$$b = \frac{0,00015}{0,02} = 0,0075 \text{ м}$$

Принимаем толщину проушины 8 мм.

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,496}{0,00016} = 240600 \text{ кПа} < R_{lp} = 263,42 \text{ МПа}$$

Толщину основания конструктивно примем равным 10 мм, т.к. в основном сжимающие усилия воспринимает бетон.

3.7 Сварные швы

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		59

Для углового сварного шва следует выполнять проверку на условный срез со следующими условиями [6]:

При $\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{P_2 \cdot K_{wz}} \leq 1$ по металлу шва

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} \leq 1 \quad (34)$$

При $\frac{P_2 \cdot K_{wz}}{\beta_z \cdot R_{wz}} > 1$ по металлу границы сплавления

$$\frac{N}{P_2 \cdot K_{wz} \cdot l_w \cdot K_{kz} \cdot \gamma_{Mz} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (35)$$

где β_f (β_z) - коэффициенты, учитывающие глубину проплавления шва и границы сплавления в зависимости от условий сварки, принимаемые при сварке элементов из стали с пределом текучести $\sigma_y \leq 53 \text{ кН/см}^2$ по [6, т. 39], а при $\sigma_y > 53 \text{ кН/см}^2$ - $\beta_y = 0,7$ и $\beta_z = 1$ независимо от вида сварки, положения шва и диаметра сварочной проволоки;

k_f - катет шва;

l_w - расчетная длина углового шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм;

γ_{wf} (γ_{Mz}) - коэффициенты условий работы шва, равные 1 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах Д, Б, П₂, И₃, для которых $\gamma_{wf} = 0,85$ для металла шва $\sigma_{lim} = 41 \text{ кН/см}^2$ и $\gamma_{Mz} = 0,85$ для всех сталей;

γ_c - коэффициент условий работы элементов конструкции по [6, т. 1];

R_{wf} - расчетное сопротивление металла шва [6, т. Г.2];

R_{wz} - расчетное сопротивление зоны сплавления [6, т. 4].

Выбираем электрод Э46А (по ГОСТ 9467) с маркой проволоки Св-08ГА.

Определим необходимые характеристики швов и условия расчета.

Таблица 15 - Характеристики сварных швов

Наименование	Обозначение/формула	Значение
К-ты проплавления шва и границы сплавления	P_2	0,7
	β	1
Катет шва	k_f	7 мм
К-ты условий работы шва	γ_{wf}	0,85
	γ_{wz}	0,85

Наименование	Обозначение/формула	Значение
Расчетное сопротивление металла шва	$R_{ш/} = \frac{0,55 \cdot R_{шн}}{X_{шш}}$	200 МПа
Расчетное сопротивление зоны сплавления	$R_{ш2} = 0,45 \cdot R_{шп}$	243 МПа
К-т надежности по металлу шва	$U_{шм}$	1,25
Нормативное сопротивление металла шва	$R_{шнп}$	450 МПа
Временное сопротивление стали	$K_{шп}$	540 МПа

При сварке элементов из стали с пределом текучести свыше 28,5 кН/см² необходимо применять электроды или сварочную проволоку, для которых выполняется условие $K_{ш2} < R_{ш/} \leq K_{ш2} \beta_2 / \beta_1$.

$$200 < 243 < 347,14$$

Условие выполняется.

$$\frac{R_{ш/} \cdot R_{шф}}{R_{ш2} \cdot K_{ш2}} = \frac{0,7 \cdot 200}{1 \cdot 243} = 0,58 < 1$$

Производим расчет по металлу шва по формуле 36. Найдем требуемую длину шва соединения проушины башмака и его основания, т.к. это соединение самое напряженное, исходя из выражения:

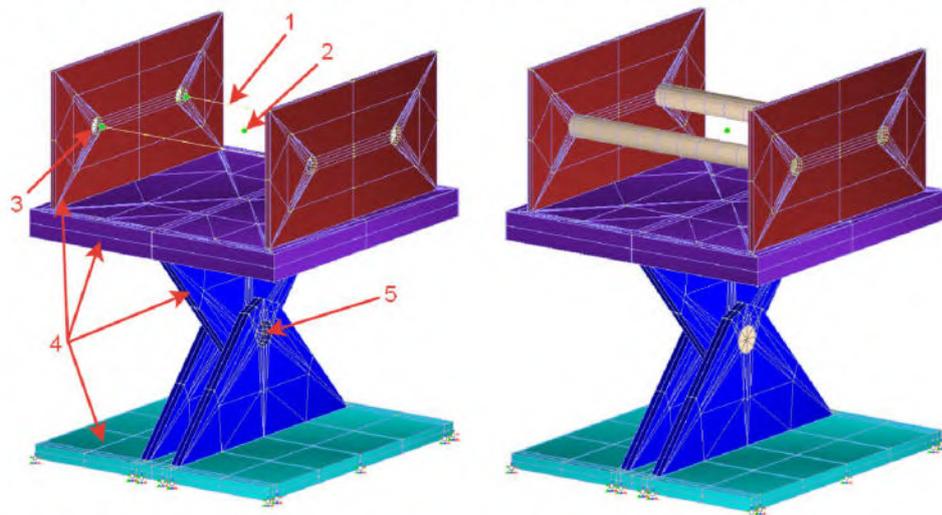
$$\frac{N}{P_f \cdot K_f \cdot l_{ш} \cdot R_{шф} \cdot U_{ш/} \cdot U_c} \leq 1 \tag{36}$$

$$l_w = \frac{N}{U_f \cdot U_f \cdot \wedge_{ш/} \cdot U_{ш/} \cdot U_c} = \frac{37,626}{0,7 \cdot 0,007 \cdot 200 \cdot 103 \cdot 0,85 \cdot 1,1} = 0,041 \text{ м}$$

Требуемая расчетная длина шва самого напряженного участка равна 41 мм, что значительно меньше длины деталей, поэтому будем производить сварку на всю длину их соприкосновения с двусторонними отступами в 10мм при помощи электродов Э46А с маркой проволоки Св-08ГА.

3.8 Сравнительный анализ полученных данных ручного счета и расчета в ПК Лира СОФТ

В ПК Лира-Софт была создана расчетная схема с использованием объемных, стержневых и нелинейных конечных элементов. Нелинейные конечные элементы использовались в качестве односторонних неупругих связей, служащих связующим звеном между стержневыми и объемными элементами.



1 – Болт М16; 2 – узел приложения известных усилий; 3 – нелинейные односторонние неупругие связи; 4 – объемные КЭ; 5 – болт М20

Рисунок 58 – Расчетная схема

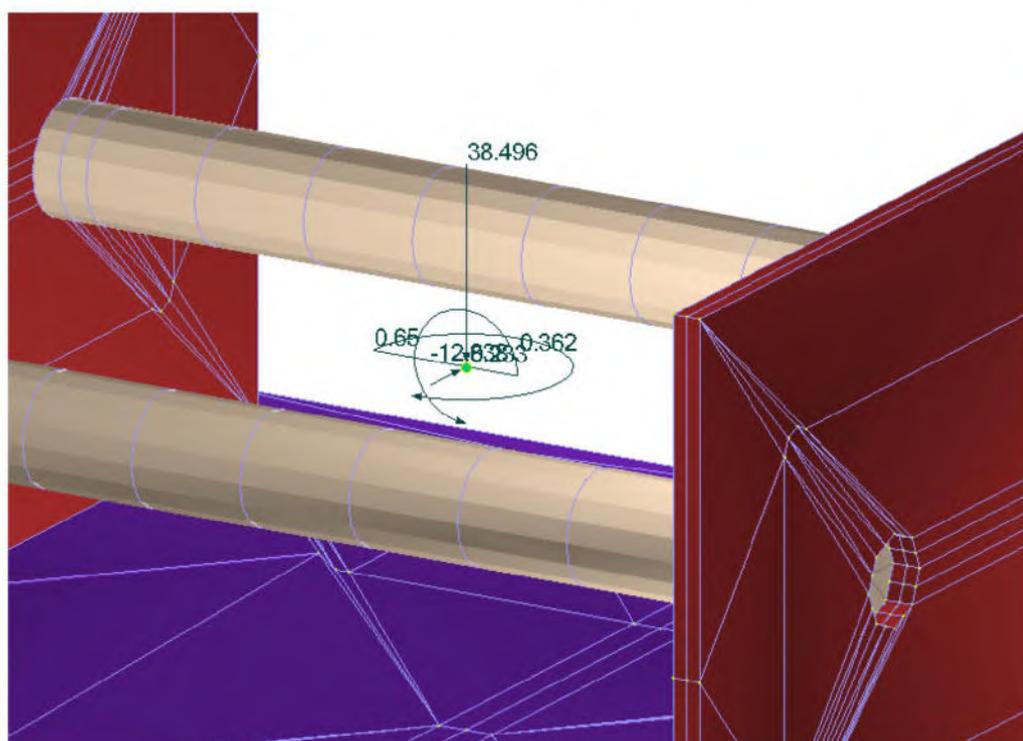


Рисунок 59 – Заданные в узел усилия

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Результаты расчета в ПК Лира-Софт:

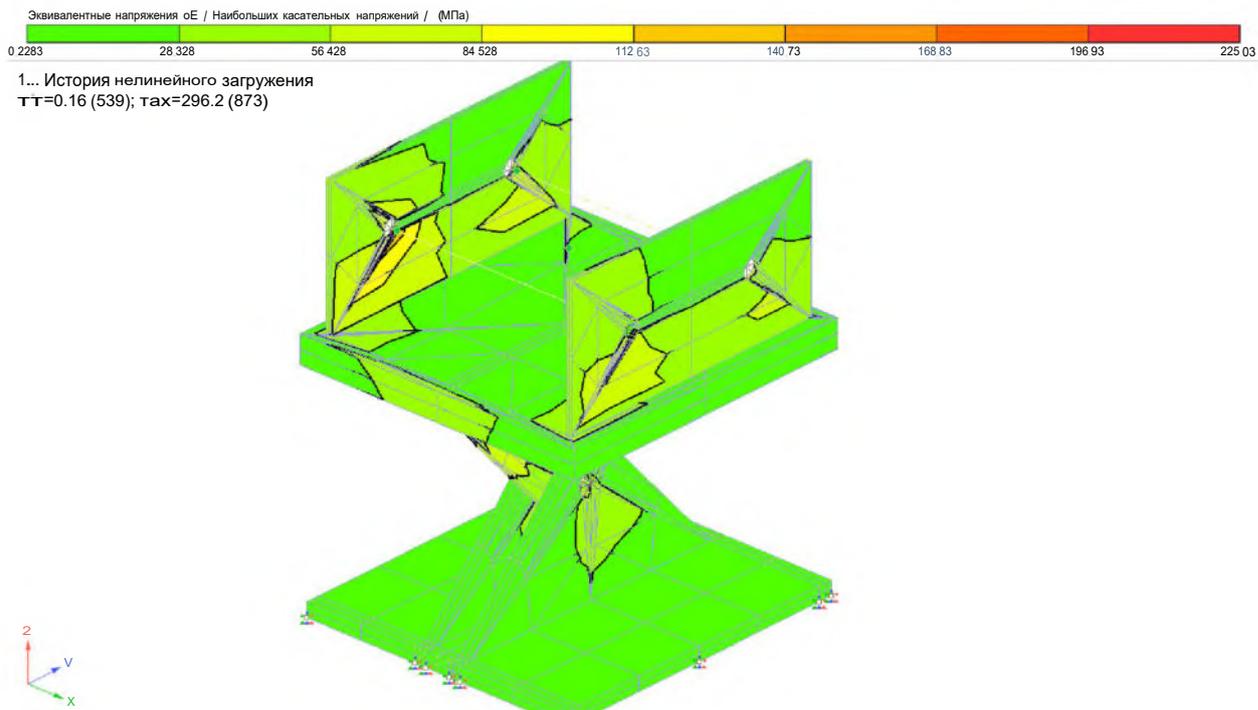


Рисунок 60 - Максимальные напряжения во всех объемных КЭ (225,03 МПа)

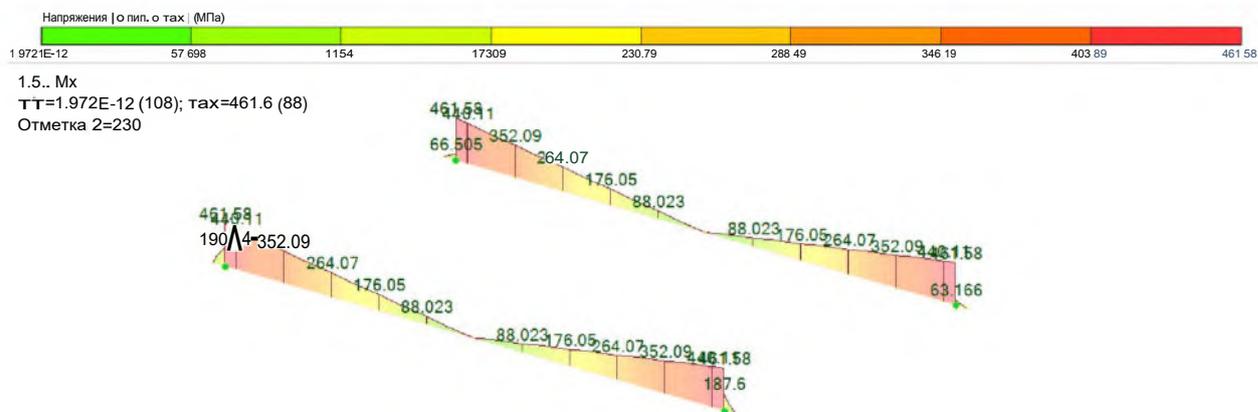


Рисунок 61 - Напряжения в болтах крепления несущего стержня арки (461,58 МПа)

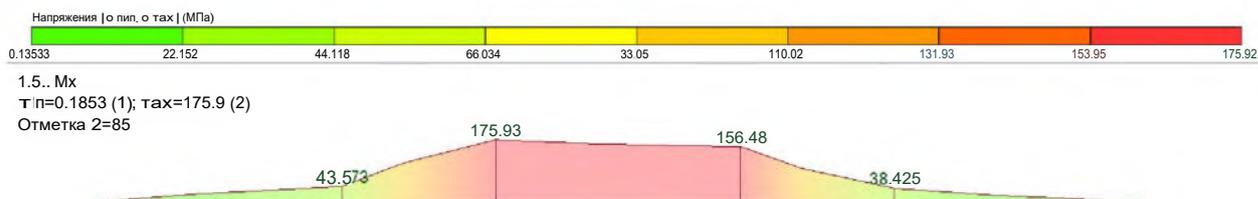


Рисунок 62 - Напряжения в шарнирном болте (175,92 МПа)

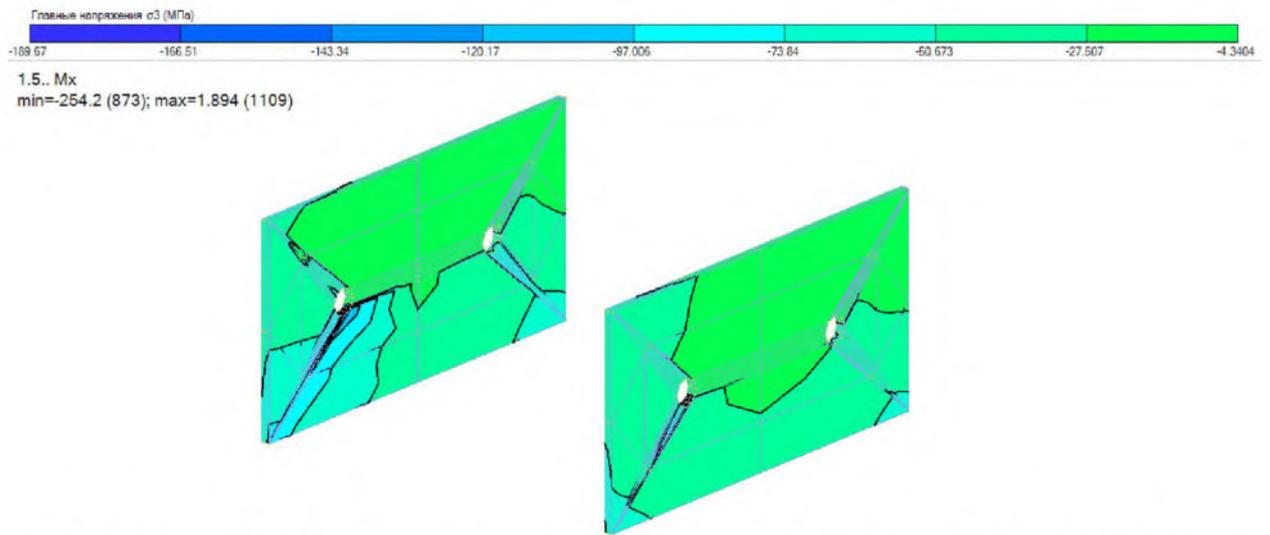


Рисунок 63 – Напряжения в боковых гранях башмака (-189,67 МПа)

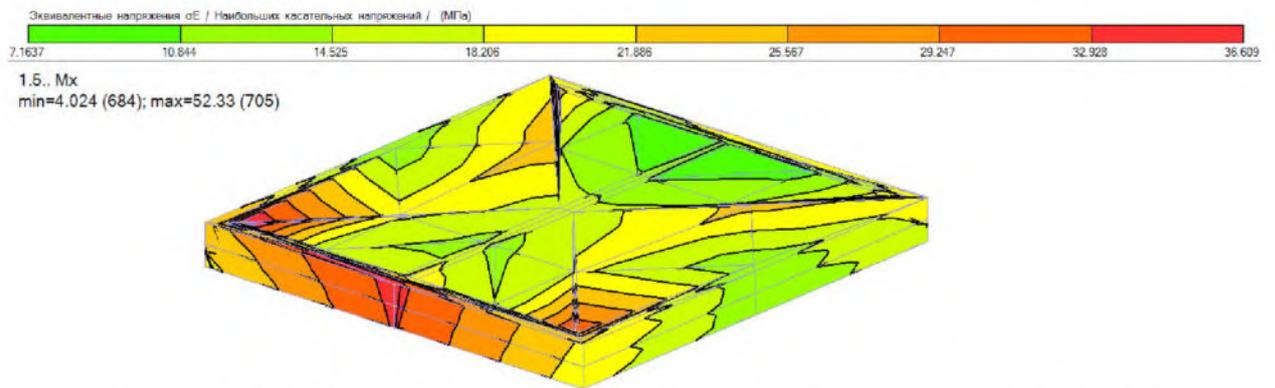


Рисунок 64 – Напряжение в опорной плите башмака (36,609 МПа)

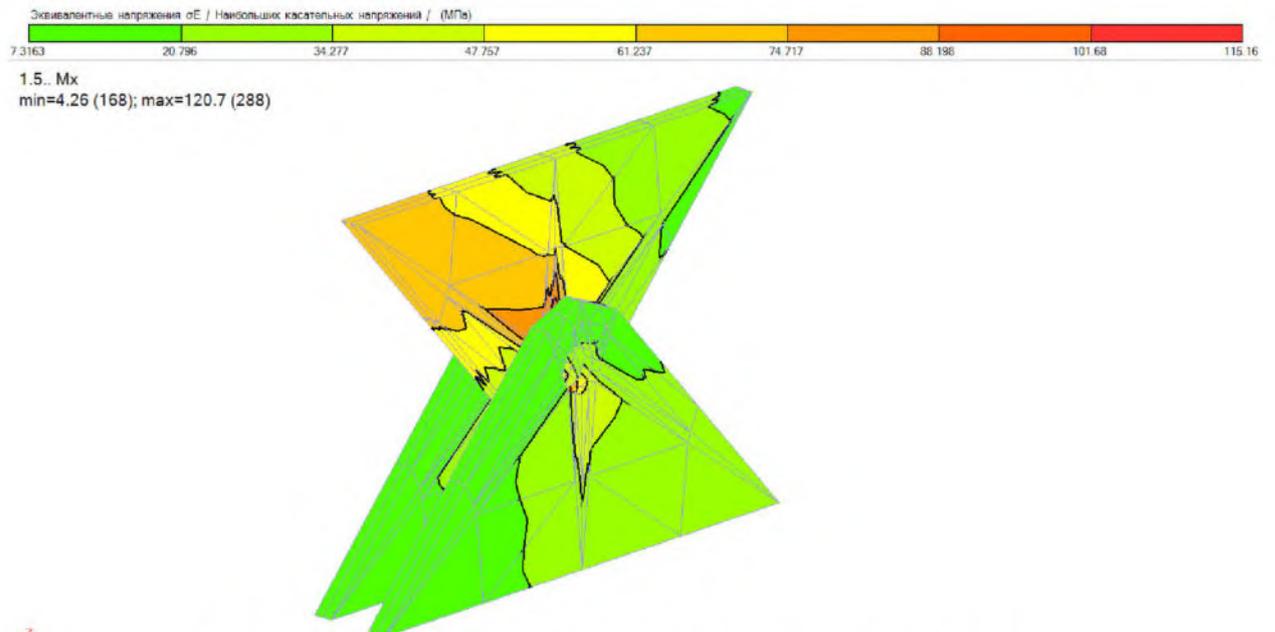


Рисунок 65 – Напряжения в проушинах (115,16 МПа)

Таблица 16 - Сравнение ручного счета и расчета в ПК Лира-Софт

Наименование	Характеристики	К-т использования (ручной), %	Макс. напряжение (ручной), МПа	К-т использования (ПК Лира Софт), %	Макс. напряжение (ПК Лира Софт), МПа
Болт крепления несущих стержней арки	2 болта М16 классом прочности 12.9, Ъ=100 мм из стали 09Г2С.4	69,93	629,353	51,29	461,58
Боковые грани башмака	200x100x4 мм	47,61	128,32	72	189,67
Опорная плита башмака	220x210x20 мм	75,89	288,75	9,62	36,609
Проушины	200x100x8 мм	91,34	240,6	43,72	115,16
Шарнирный болт	Болт М20 классом прочности 5.6, Ъ=30 мм из стали 09Г2С.4	29,79	196,178	26,71	175,92

4 Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира

В расчетном комплексе ПК Лира-СОФТ была создана расчетная схема, в точности повторяющая модель, использующуюся в натурном эксперименте. Несущие стержни, стеклопластиковые и деревянные связи, и брус для укладки кирпича были заданы на схеме. При помощи «объединения перемещений» брус для кирпича был связан с несущими стержнями. В узлах арок, где располагаются деревянные вставки, были заданы упругие шарниры с жесткостью $0,015 \cdot 0,02$ тс*м. Для отображения более точных результатов, количество узлов в стержнях было увеличено путем разбивки на 5 частей каждого из них.

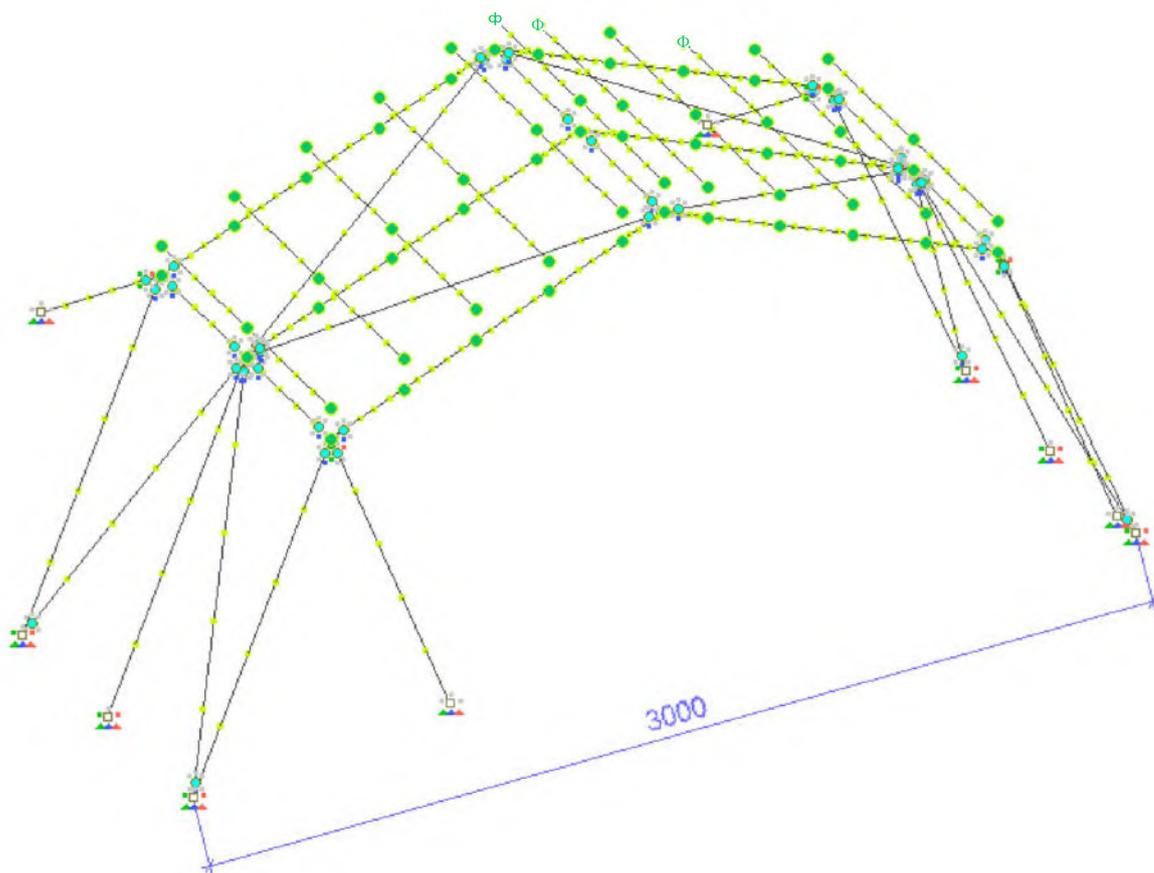


Рисунок 66 - Расчетная схема

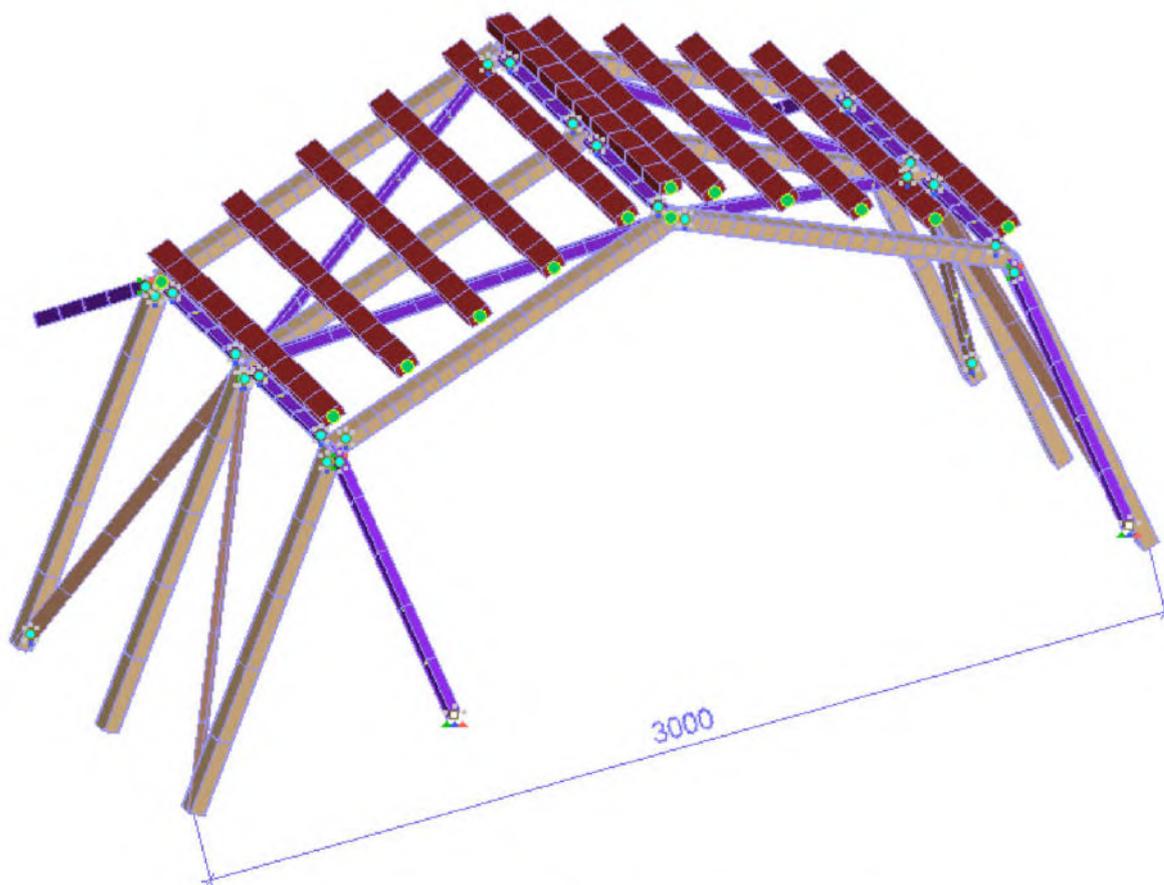


Рисунок 67 – Расчётная схема в объеме

Были заданы следующие нагрузки и их сочетания, представленные в Таблице 17.

Таблица 17 – Нагрузки и их сочетания

Наименование	К-т приведения	Сочетания					
		Без нагрузки	1 стадия	2 стадия	3 стадия	4 стадия	Кососим. нагрузка
Собственный вес стеклопластика	1,05	+	+	+	+	+	+
Вес пленки	1,1	+	+	+	+	+	+
Вес вставок в несущие стержни	1,1	+	+	+	+	+	+
Вес вставок в связи	1,1	+	+	+	+	+	+
Вес крепления пленки	1,1	+	+	+	+	+	+

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

Вес бруса для укладки кирпича	И	+	+	+	+	+	+
1 стадия загрузки	1,2	-	+	+	+	+	-
2 стадия загрузки	1,2	-	-	+	+	+	-
3 стадия загрузки	1,2	-	-	-	+	+	-
4 стадия загрузки	1,2	-	-	-	-	+	-
Кососимметричная нагрузка	1,2	-	-	-	-	-	+

Каждая стадия загрузки в сумме имеет вес по 300 кг.

Результаты расчета:

- Сочетание без загрузки кирпичом

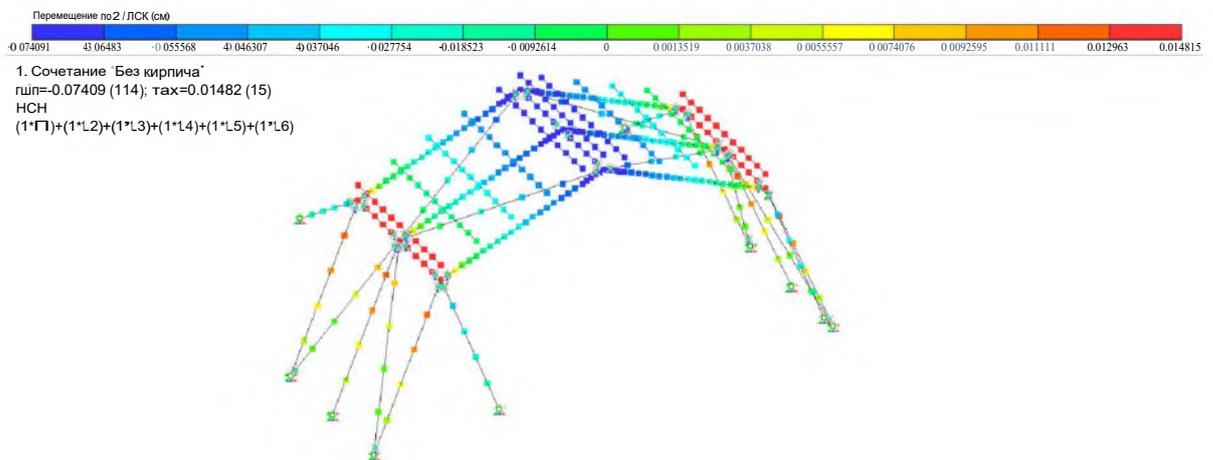


Рисунок 68 - Прогибы по оси 2 (таж -0,074 см)

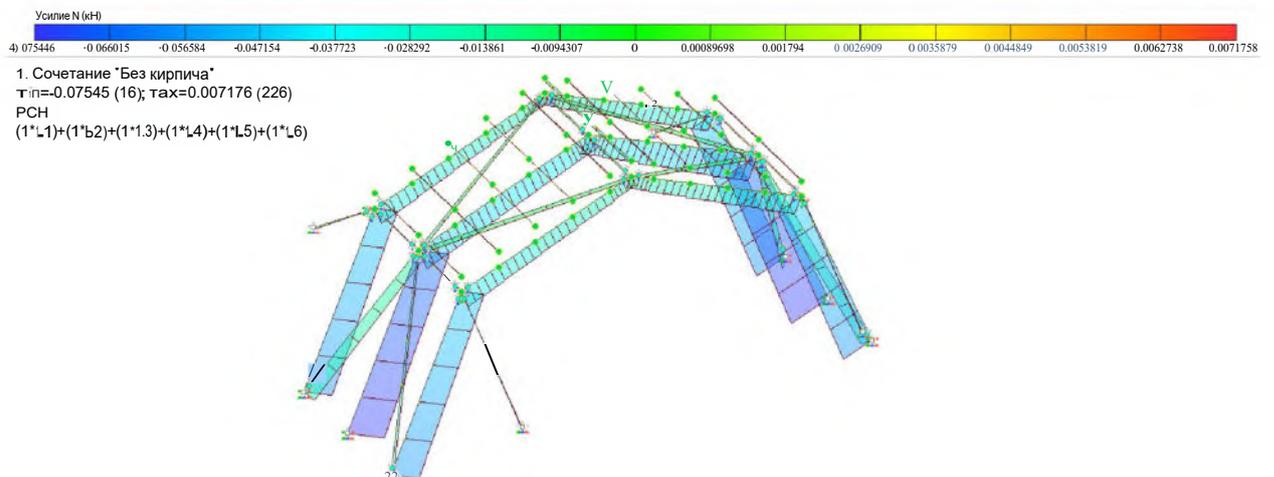


Рисунок 69 - Усилие N (таж -0,075 кН)

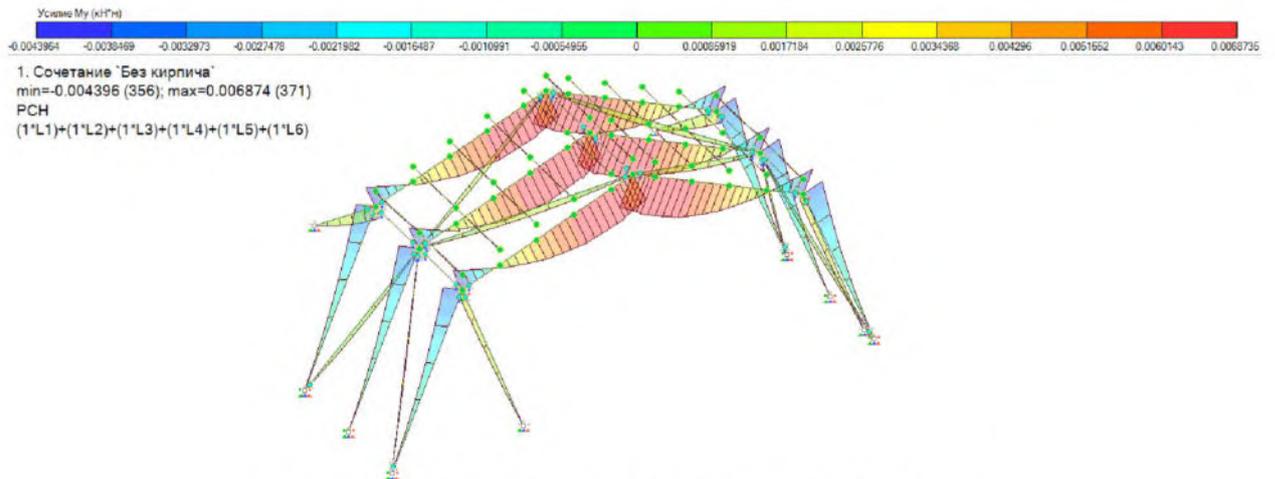


Рисунок 70 – Усилие M_y (max 0,0069 кН*м)

- Сочетание 1 стадии загрузки

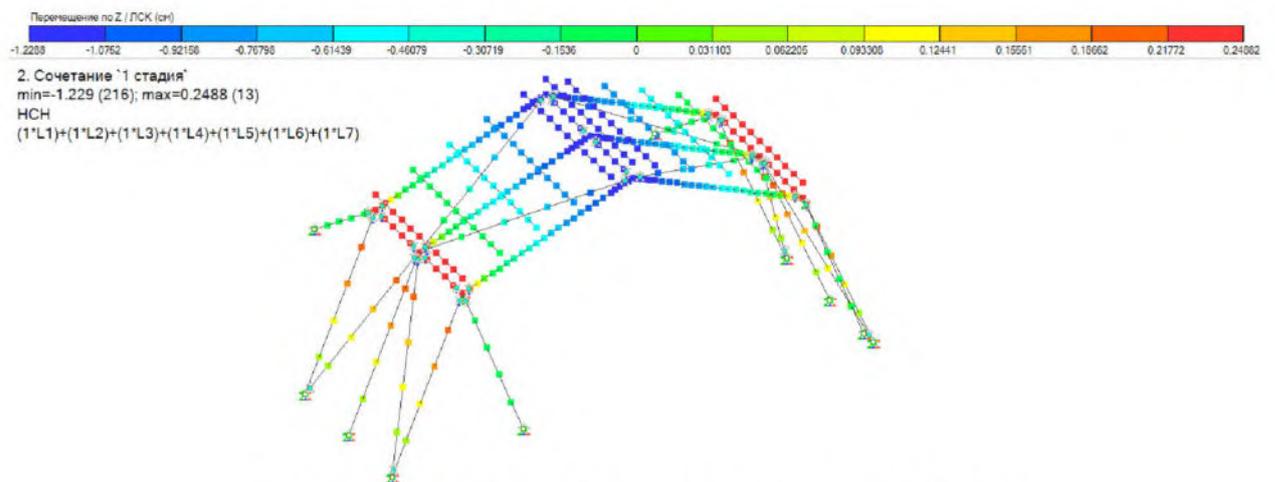


Рисунок 71 – Прогобы по оси Z (max -1,229 см)

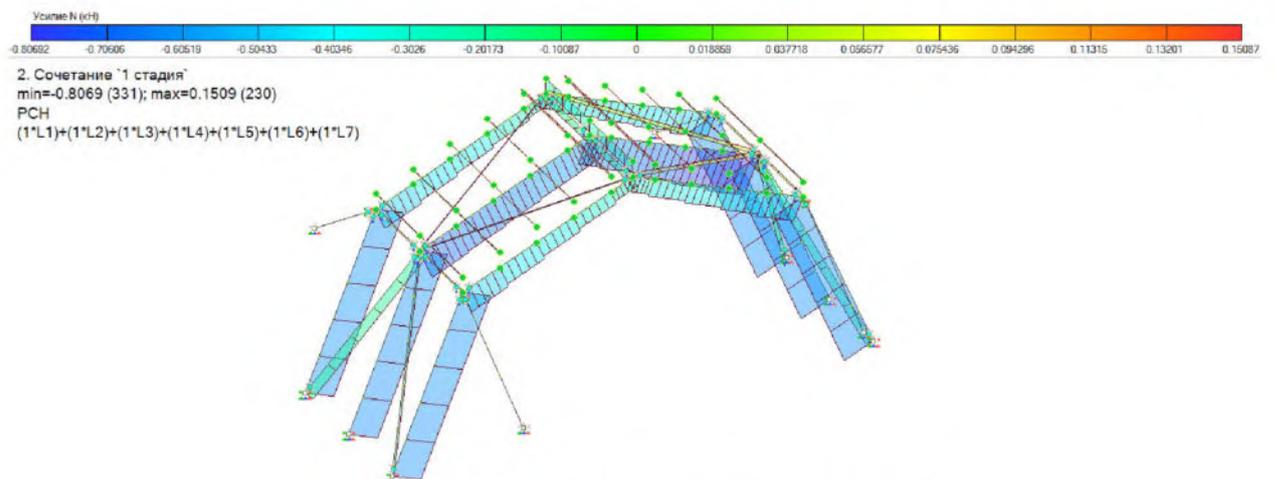


Рисунок 72 – Усилие N (max -0,807 кН)

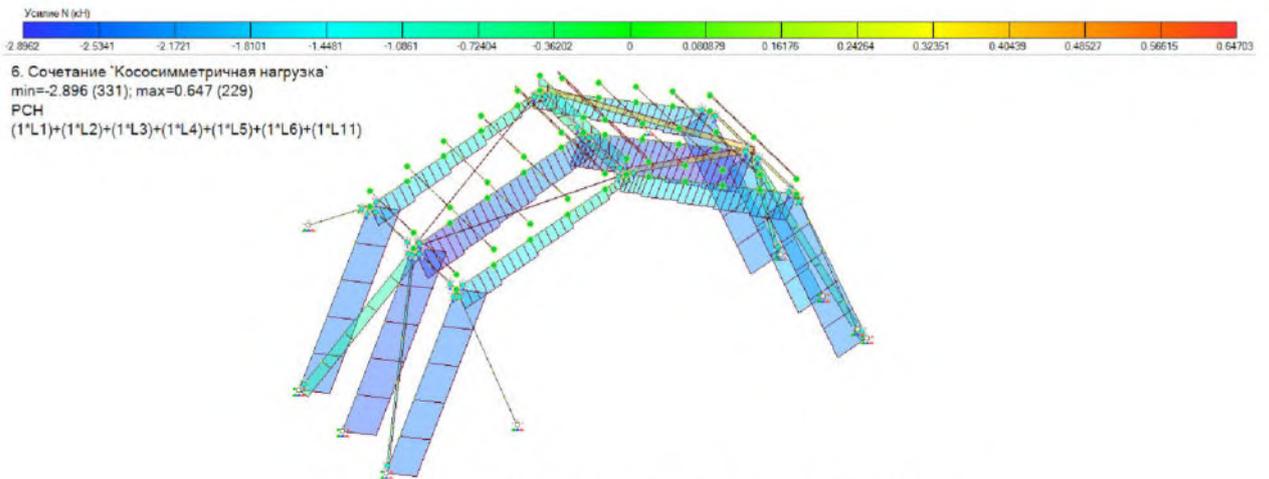


Рисунок 73 – Усилие M_y (max 0,126 кН*м)

- Сочетание 2 стадии загрузкиения

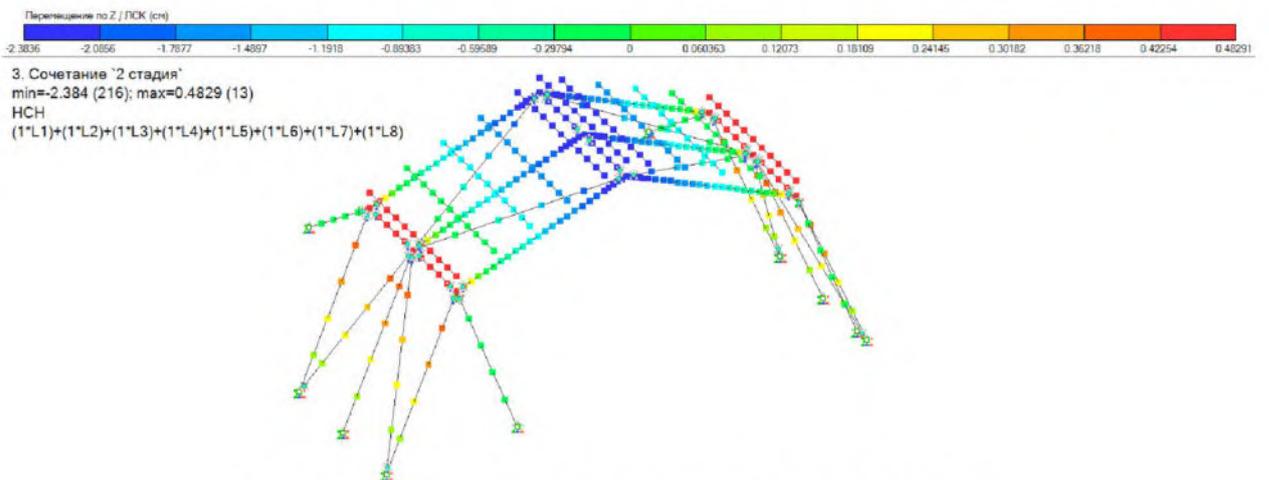


Рисунок 74 – Прогибы по оси Z (max -2,384 см)

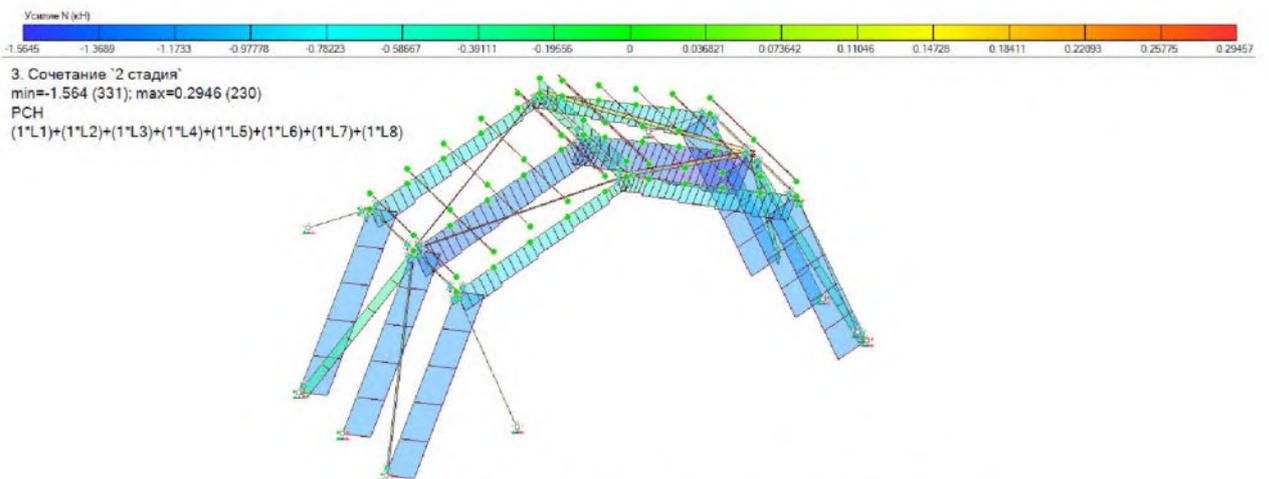


Рисунок 75 – Усилие N (max -1,565 кН)

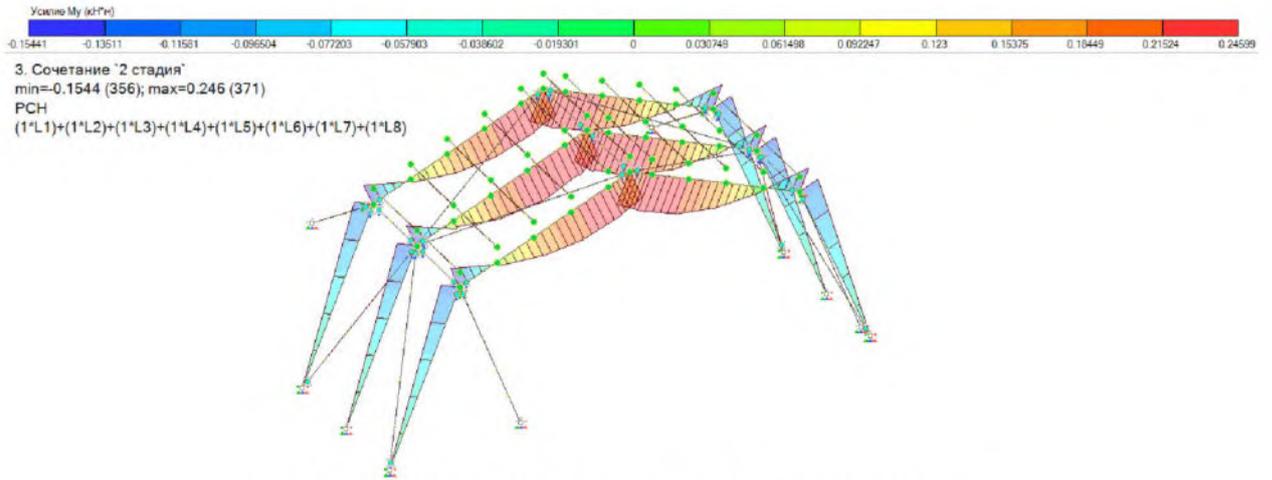


Рисунок 76 – Усилие M_y (max 0,246 кН*м)

- Сочетание 3 стадии загрузки

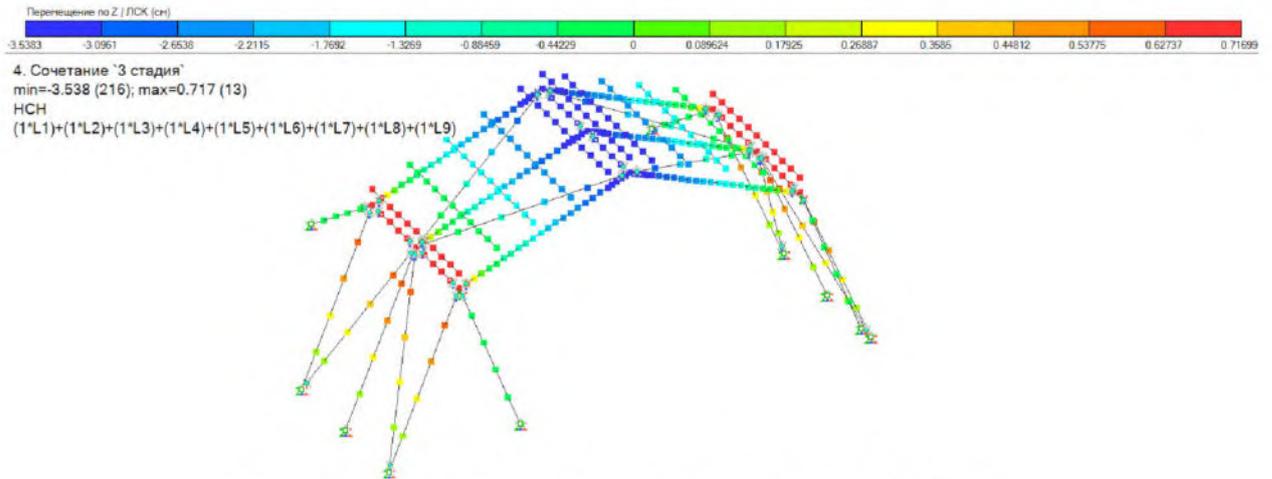


Рисунок 77 – Прогибы по оси Z (max -3,538 см)

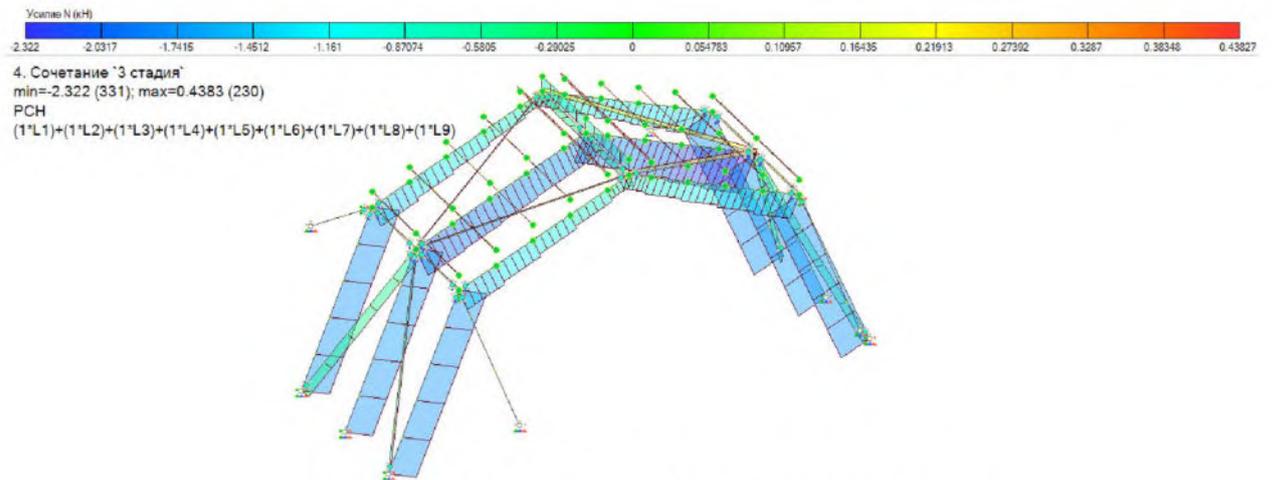


Рисунок 78 – Усилие N (max -2,322 кН)

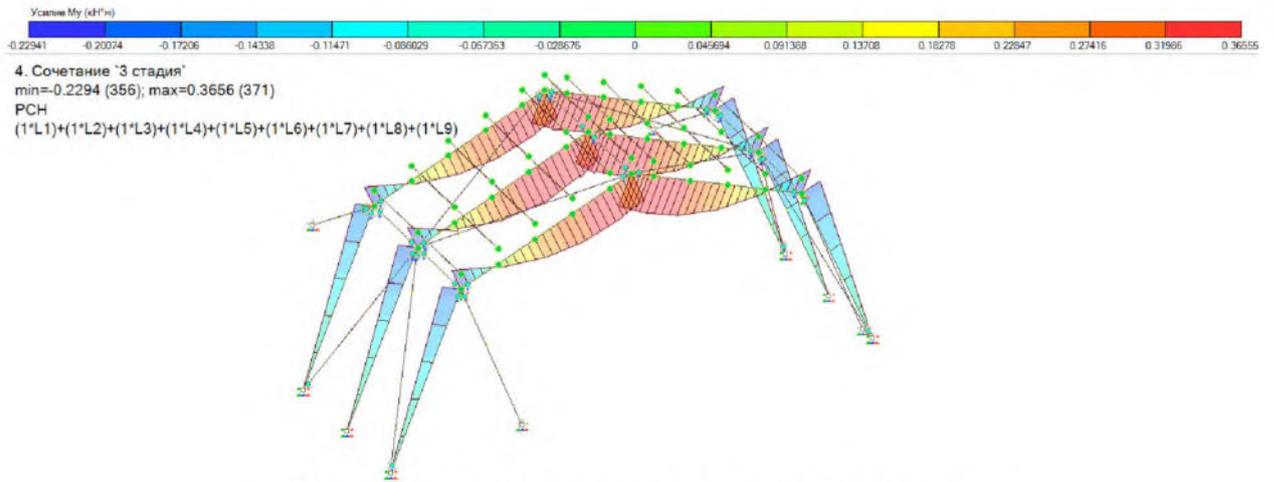


Рисунок 79 – Усилие M_y (max 0,366 кН*м)

- Сочетание 4 стадии загрузки

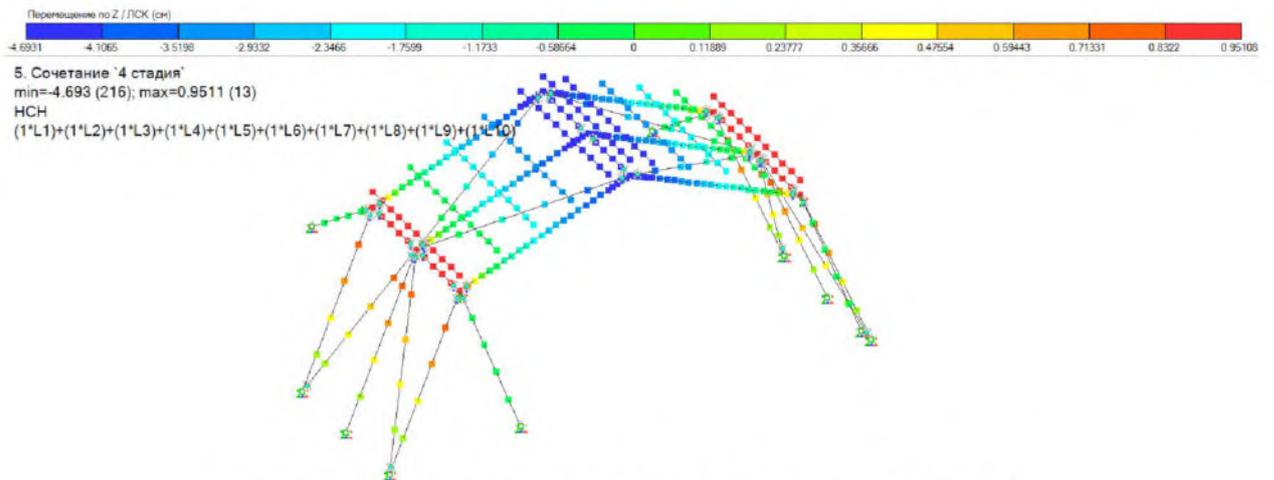


Рисунок 80 – Прогибы по оси Z (max -4,693 см)

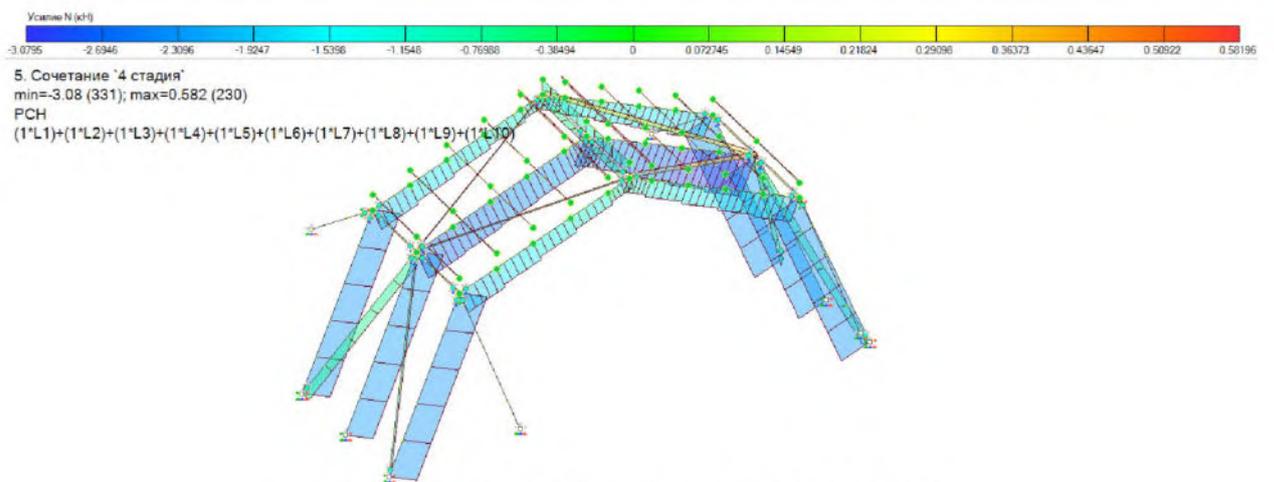


Рисунок 81 – Усилие N (max -3,08 кН)

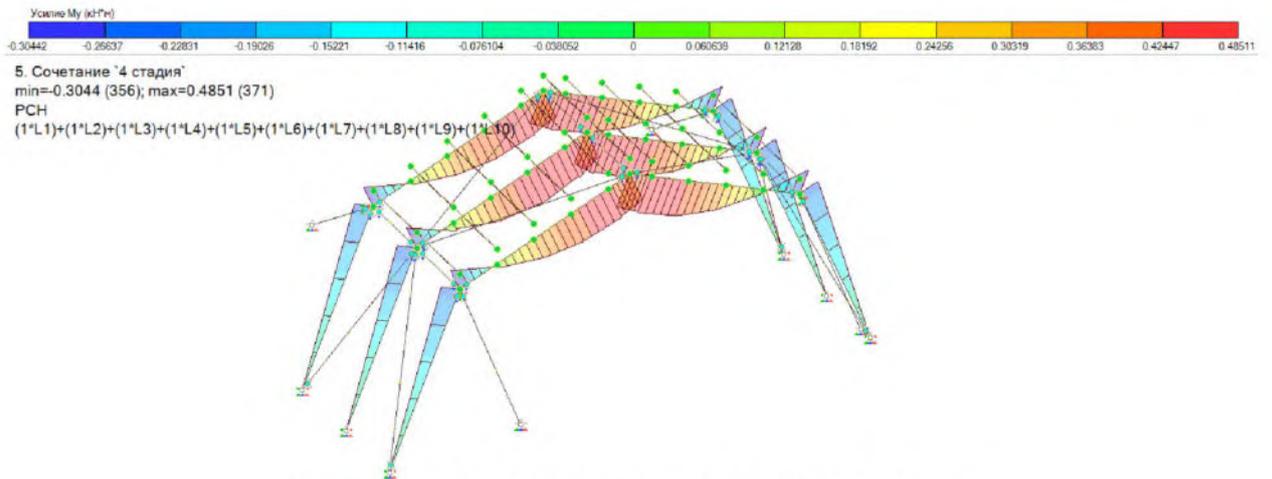


Рисунок 82 – Усилие M_y (max 0,485 кН*м)

- Сочетание кососимметричной нагрузки

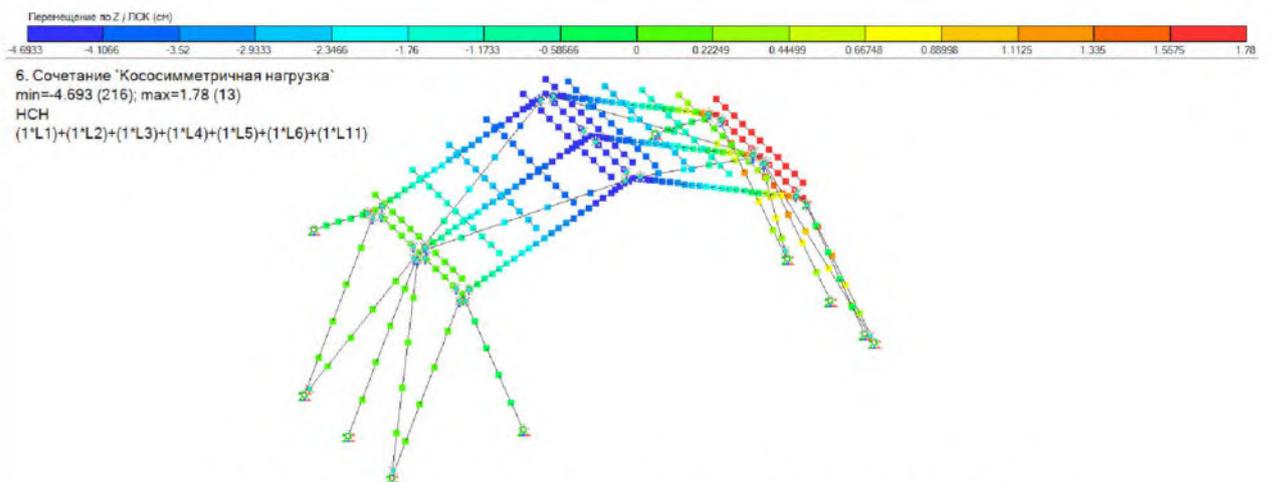


Рисунок 83 – Прогибы по оси Z (max -4,693 см)

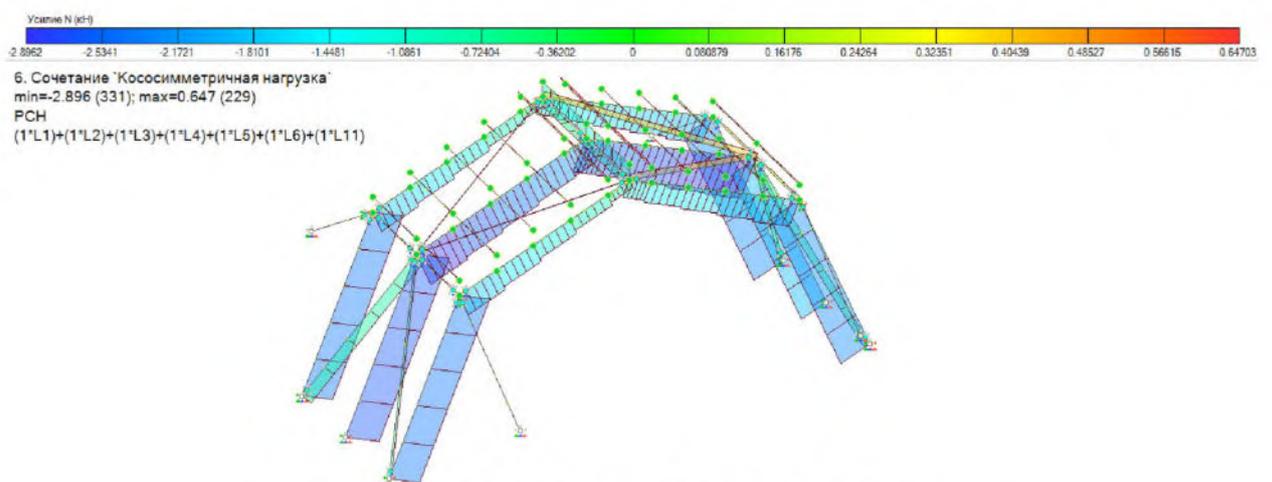


Рисунок 84 – Усилие N (max -2,896 кН)

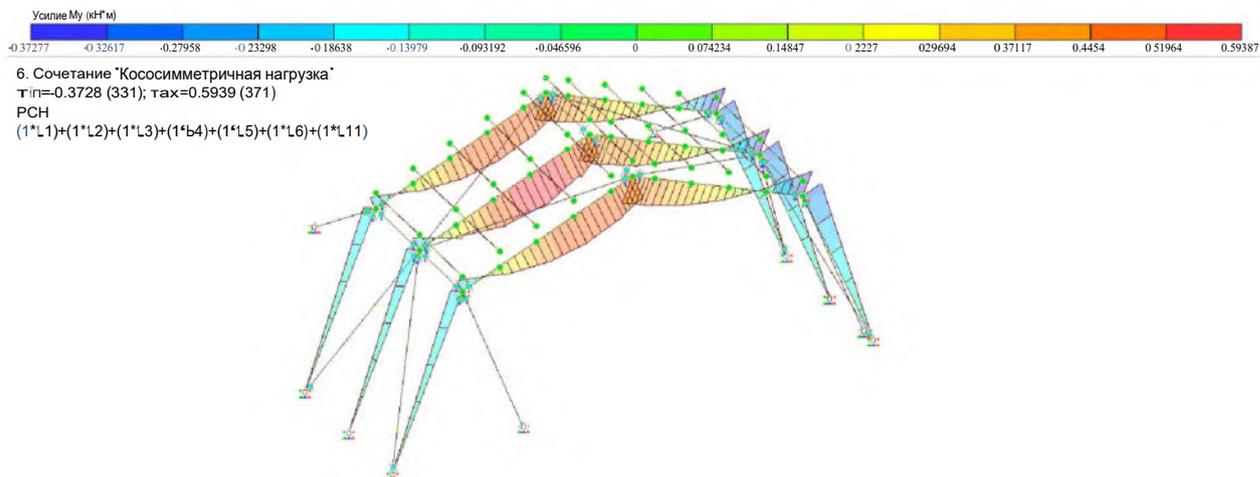


Рисунок 85 - Усилие M_y (тах 0,594 кН*м)

В условиях вечной мерзлоты важно устроить фундамент так, чтобы во время сезонного оттаивания грунта и очередной его заморозки конструкция не получала значительных перемещений ввиду пучения.

В нашем случае предлагается устроить свайный фундамент по технологии буроопускной сваи с глубиной заложения 3,5 м, затем произвести устройство монолитных столбиков и балок-стенок высотой 1 м.

Технология буроопускной сваи в реальных условиях строительства даст возможность быстро производить монтаж фундамента и железобетонных конструкций, что является самым продолжительным этапом возведения туннельного сооружения.

В качестве буроопускной сваи в нашем случае используется свая СМ 4-40 по Серии 1.011.1-8м. Размеры сваи - 400x400x4000 мм.

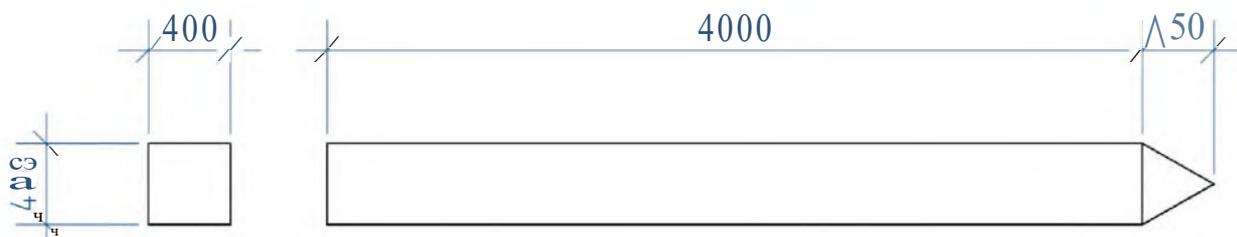


Рисунок 86 - Свая СМ 4-40

Армирование столбиков и стенок рассчитано при помощи ПК Ли́ра-СОФТ.

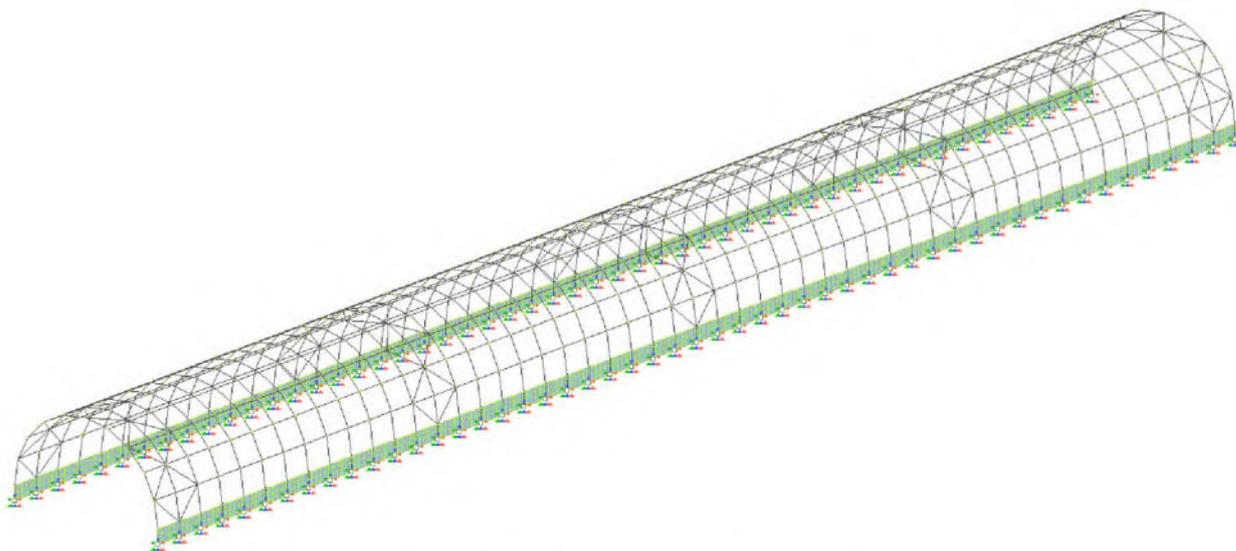


Рисунок 87 – Расчетная схема туннеля

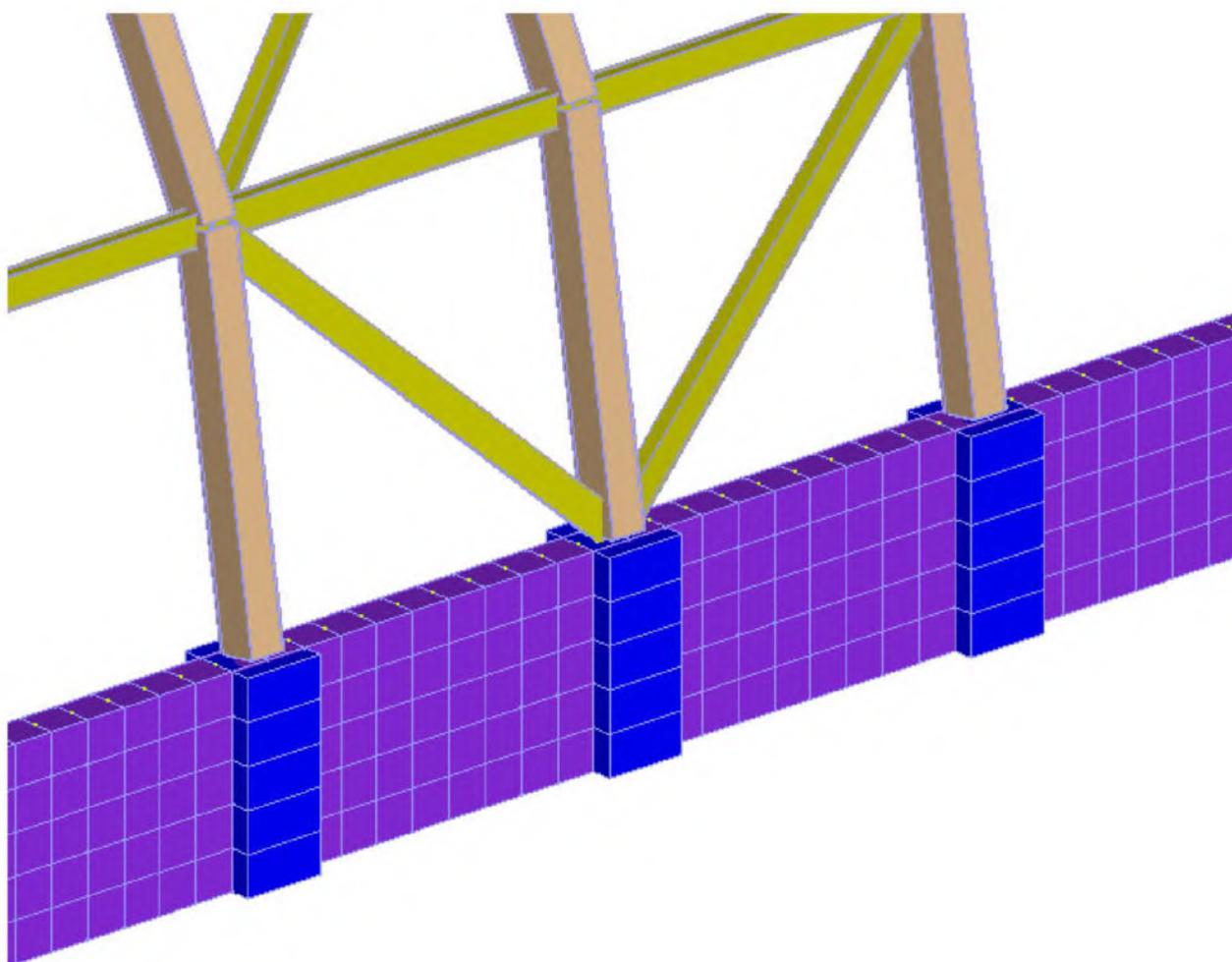


Рисунок 88 – 3D визуализация столбиков и стенок

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ

Лист

75

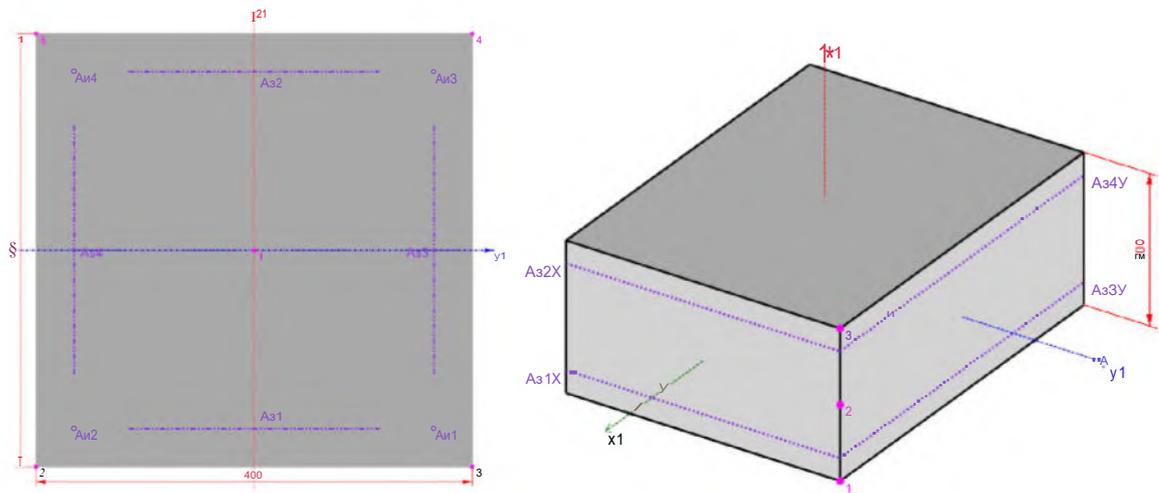


Рисунок 89 - Сечения столбика и стенки

Был выбран класс бетона и арматуры – В25 и А400 соответственно. При помощи возможностей ПК Лира СОФТ было подобрано сечение арматуры для каждой из конструкции.

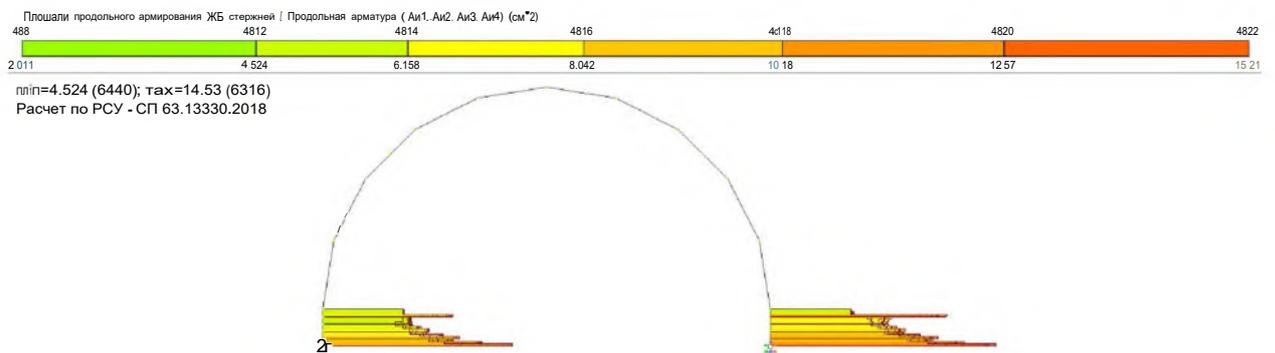


Рисунок 90 - Армирование столбиков - 4022 А400

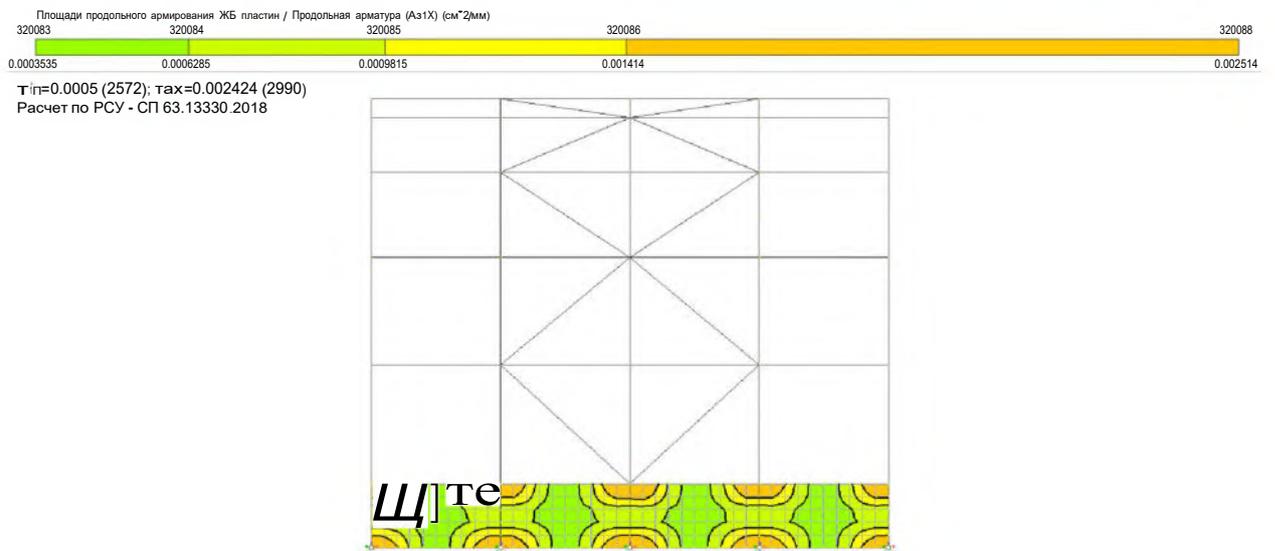


Рисунок 91 - Нижнее армирование Aз1X - 08 А400, шаг 200

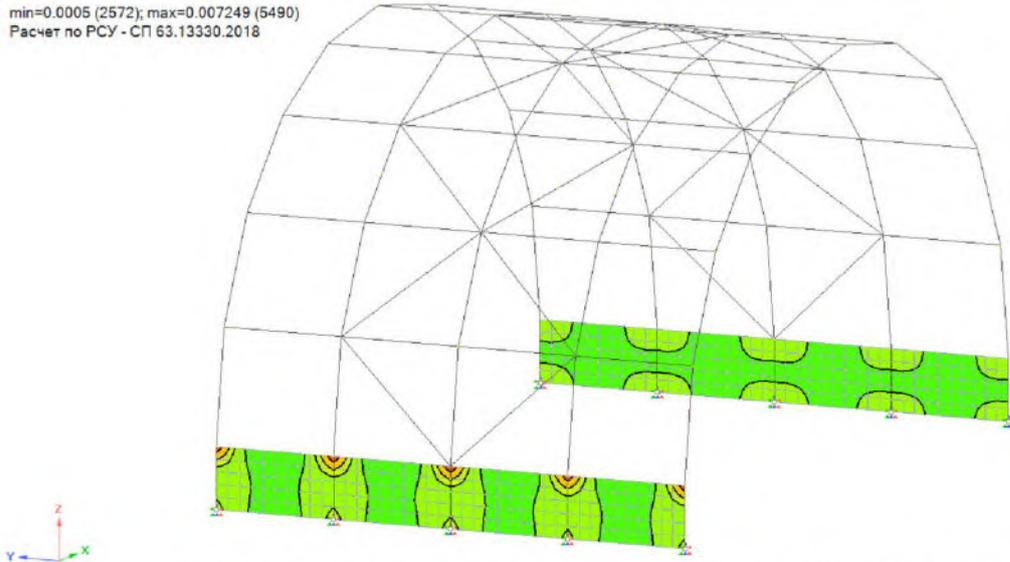
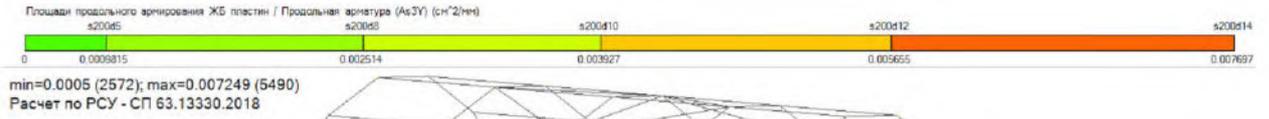


Рисунок 92 – Нижнее армирование As3Y - Ø14 A400, шаг 200

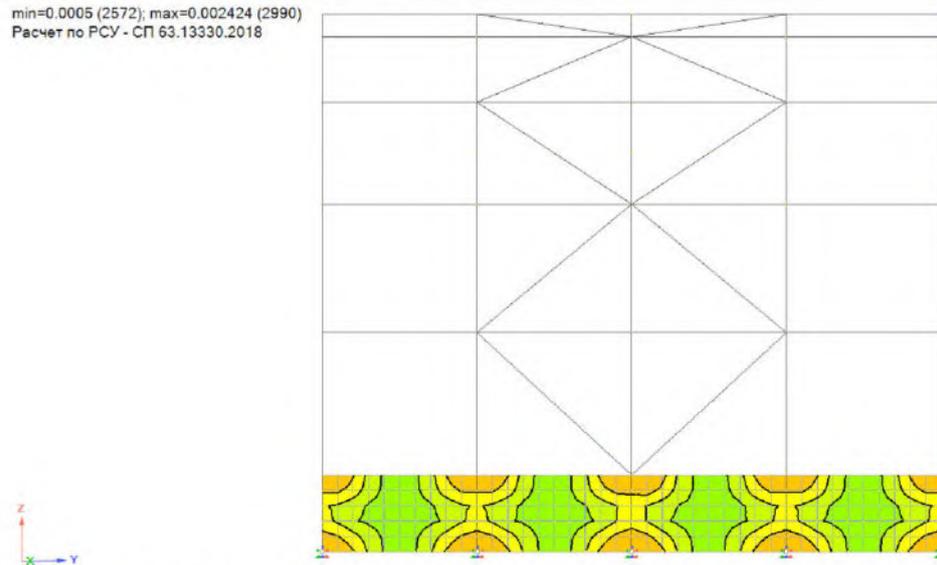
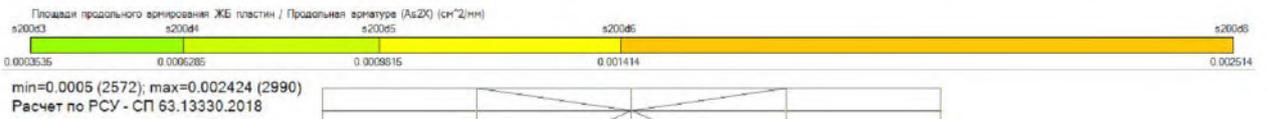


Рисунок 93 – Верхнее армирование As2X - Ø8 A400, шаг 200

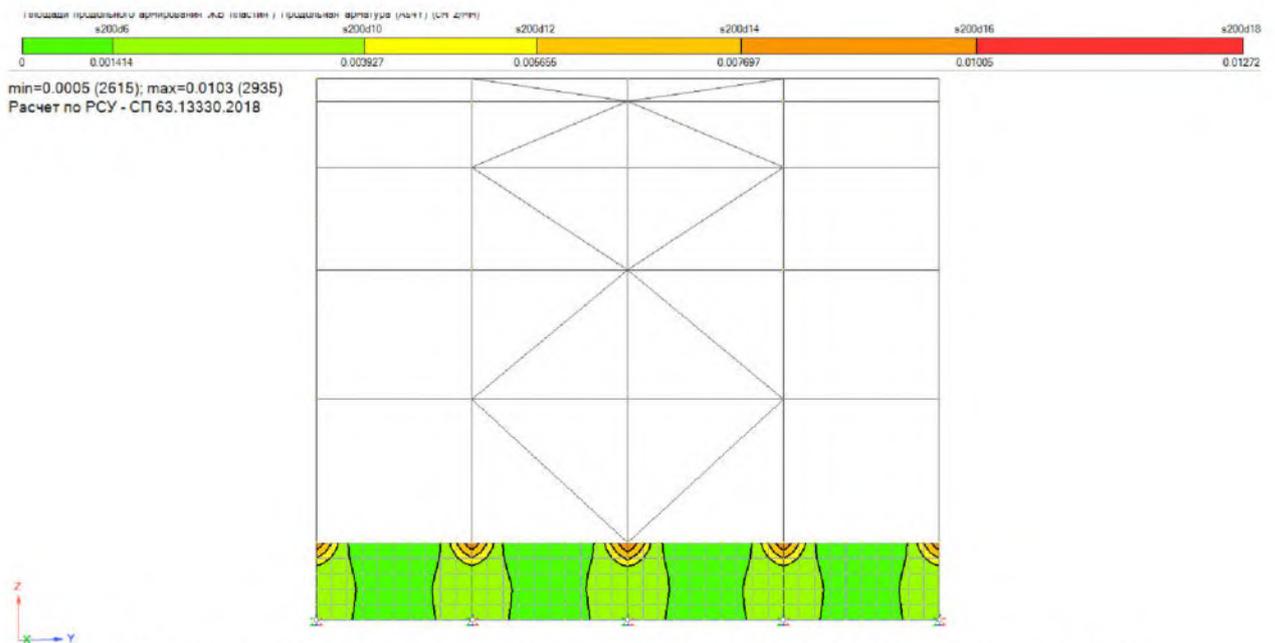


Рисунок 94 – Верхнее армирование As4Y - Ø18 А400, шаг 200

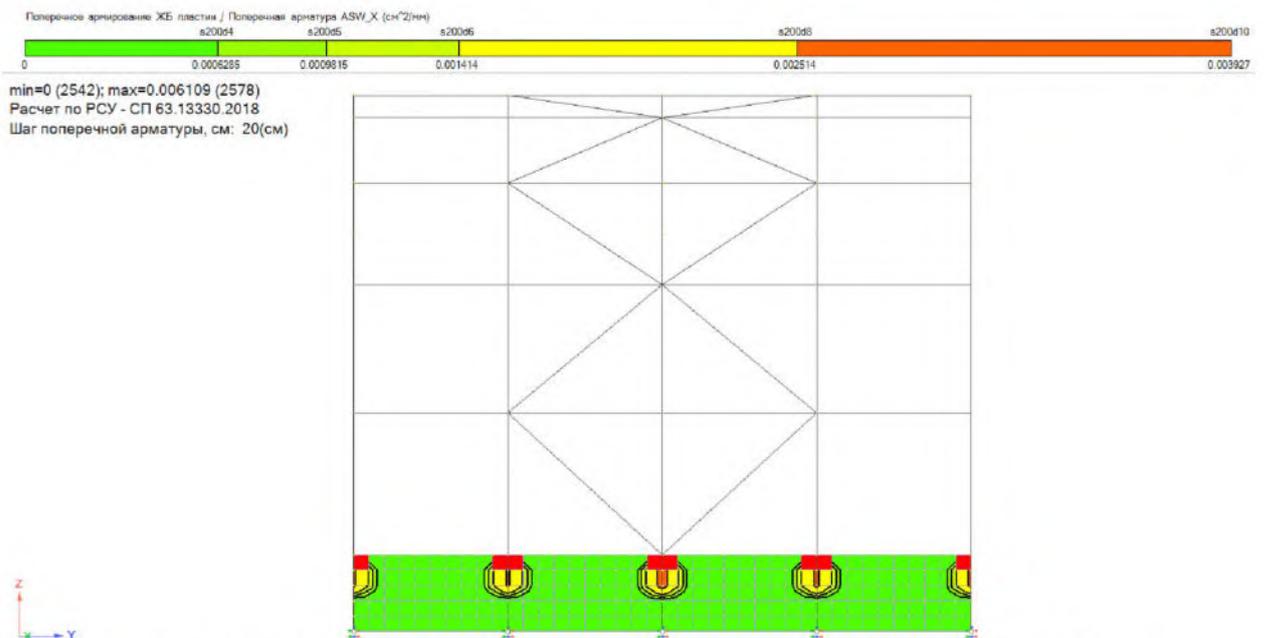


Рисунок 95 – Поперечное армирование - Ø10 А400, шаг 200

Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

5 Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции туннельного типа

5.1 Цель экспериментального исследования

Проектирование туннельного сооружения требует высокой технической компетенции, глубокого понимания всех факторов, влияющих на его эффективность и безопасность, а также навыков использования современных программных комплексов для расчета, поэтому в рамках научно-исследовательской работы стоит задача рассмотреть не только конструктивные особенности туннельной конструкции, как линейного сооружения, но и учесть все факторы, усложняющие функционирование системы, произвести подбор наиболее оптимальных конструктивных решений.

Целью проводимого исследования является осуществление проверки модели конструкции из стеклопластикового профиля на нагрузку, полученную путем численного расчета в программном комплексе Лира и сопоставление с реальными результатами эксперимента, последующее испытание натурной модели фрагмента туннельного сооружения на действие внешних силовых факторов и анализ экспериментальных данных для оценки принимаемых конструктивных решений по степени их эффективности, а также оценки механических свойств стеклопластика, как несущего элемента.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Построить натурную модель фрагмента туннельной конструкции с использованием стеклопластика в качестве несущего элемента.
2. Подвергнуть модель различным типам внешних силовых факторов, чтобы оценить поведение и реакцию конструкции.
3. Собрать экспериментальные данные о поведении конструкции и отклике модели, включая прогибы, деформации и напряжения.
4. Провести анализ экспериментальных данных с использованием современных программных комплексов и сравнить результаты с теоретическими расчетами.
5. Оценить эффективность принятых конструктивных решений, в том числе использование стеклопластика в качестве несущего элемента и другие конструктивные особенности.
6. Разработать на основе экспериментальных данных и анализа наиболее эффективное конструктивное решение, которое может быть применено в практике строительства туннельных сооружений.

Физические исследования необходимы для определения действительных напряжений и сопоставления с численными данными (см. раздел 5).

Также ставится задача определения оптимальных параметров технологического процесса строительства туннеля, включая выбор применяемых материалов, способов укрепления и параметров конструкции. В результате

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		79

проведенного эксперимента планируется получить данные, необходимые для осуществления эффективного и безопасного строительства туннелей из стеклопластика.

5.2 Решение поставленной задачи

Для проведения эксперимента была разработана и смонтирована натурная модель фрагмента туннельной конструкции из стеклопластика с уменьшением, по сравнению с реальными, габаритных размеров и прикладываемых нагрузок в 4 раза (рис. 96,97). Такое решение было принято исходя из удобства монтажа в условиях проведения лабораторного испытания.

В ходе эксперимента на модель прикладывается распределенная нагрузка, близкая к реальной, по заранее разработанным схемам поэтапного нагружения в соответствии с данными, полученными при численных расчетах. Это позволит определить поведение и реакцию конструкции.

С помощью специальных датчиков тензометрической системы ММТС-64.01 осуществляется программный сбор экспериментальных данных о поведении конструкции. Далее данные вносятся в программные комплексы для анализа и сравнения с теоретическими расчетами, полученными в программном комплексе Лира.

Также стоит отметить необходимость оценить эффективность реализованных конструктивных решений, связанных с использованием стеклопластика в качестве несущего элемента и другими конструктивными аспектами.

Вклад этого исследования в область гражданского строительства значителен, поскольку он даст новое представление об использовании стекловолокна в качестве опорного элемента при строительстве туннелей. Результаты исследований дадут толчок и позволят инженерам разработать более эффективные и рациональные конструкции туннельных конструкций, что приведет к повышению безопасности и надежности их использования в условиях северных широт.

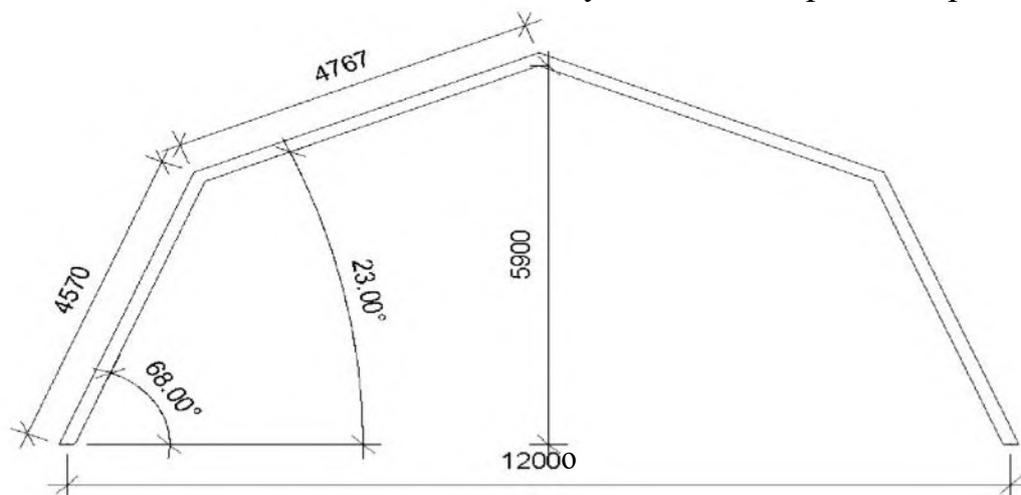


Рисунок 96 - Габаритные размеры модели в натуральную величину

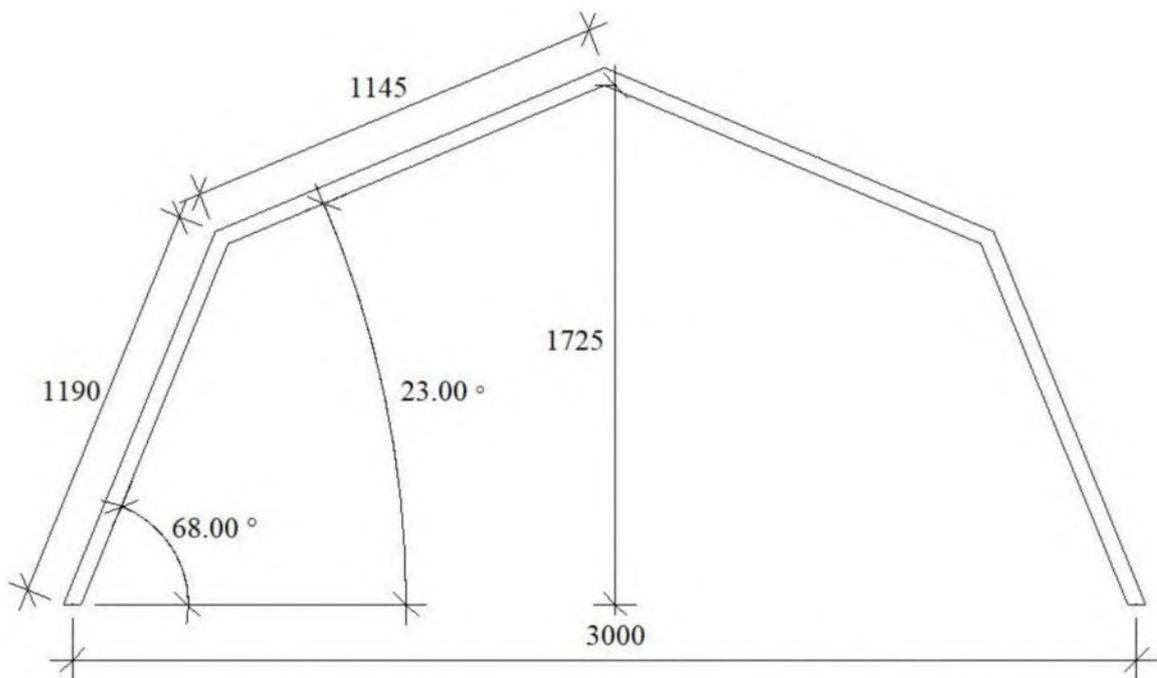


Рисунок 97 – Габаритные размеры модели исследования

5.3 Создание экспериментальной модели

При проведении экспериментального исследования используется уменьшенная модель фрагмента туннельной конструкции, геометрические параметры которой уменьшены до одной четвертой от реальной исследуемой конструкции. Миниатюрный фрагмент туннеля состоит из трех рам, образованных стеклопластиковыми профилями и соединенными между собой связями из того же материала (рис.98).

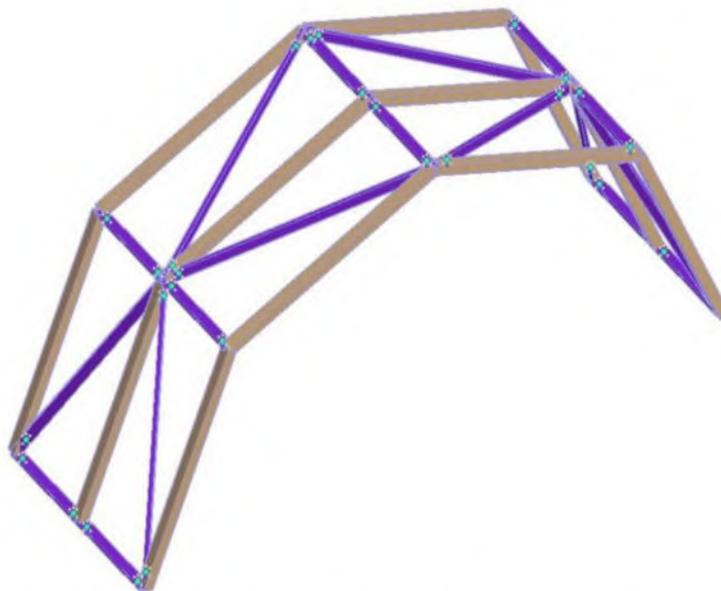


Рисунок 98 – Модель, созданная в расчетном комплексе

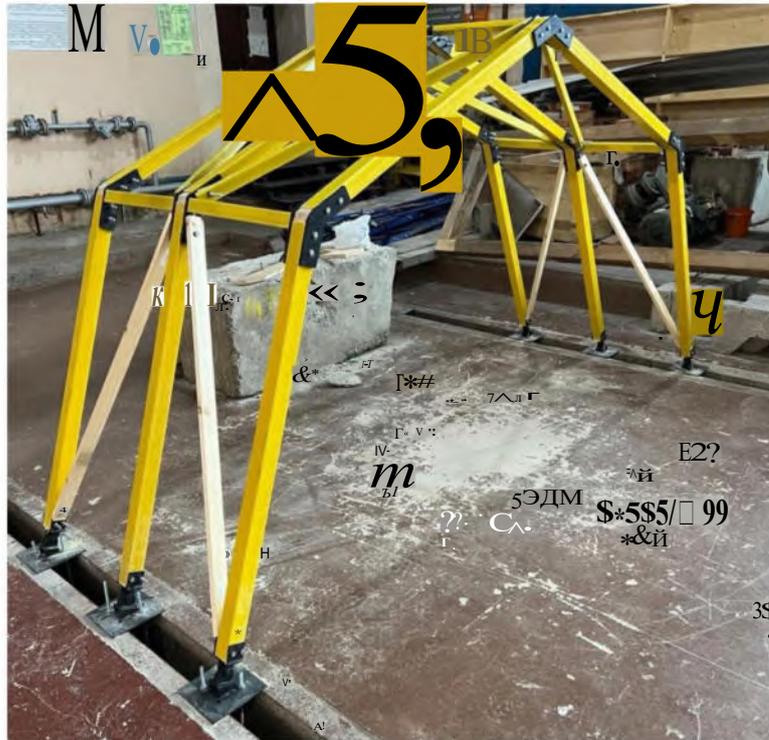


Рисунок 99 - Экспериментальная модель

Опоры конструкции представляют собой металлические шарниры индивидуального изготовления (рис.100), монтируются они в так называемый технологический «ручеек» с шагом 500 мм и удерживаются за счет сил трения (рис.101,102). Для того чтобы зафиксировать положение опор, нижняя и верхняя металлические пластины соединяются шпильками. Сам шарнир установлен на верхней пластине под таким углом, чтобы плоскость опирания стержня в шарнир была строго перпендикулярна усилиям. Также это необходимо для того, чтобы избежать возникновения дополнительных изгибающих моментов как в опорах, так и в самих стержнях конструкции.

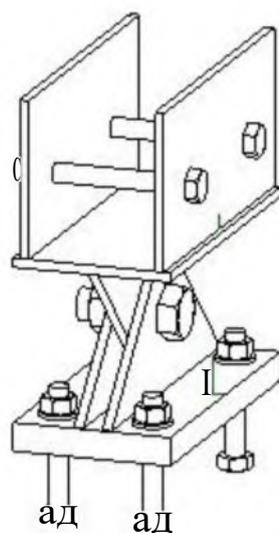


Рисунок 100 - Схема опорного шарнира и изготовленная конструкция

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закум.	Подпись	Дата		82

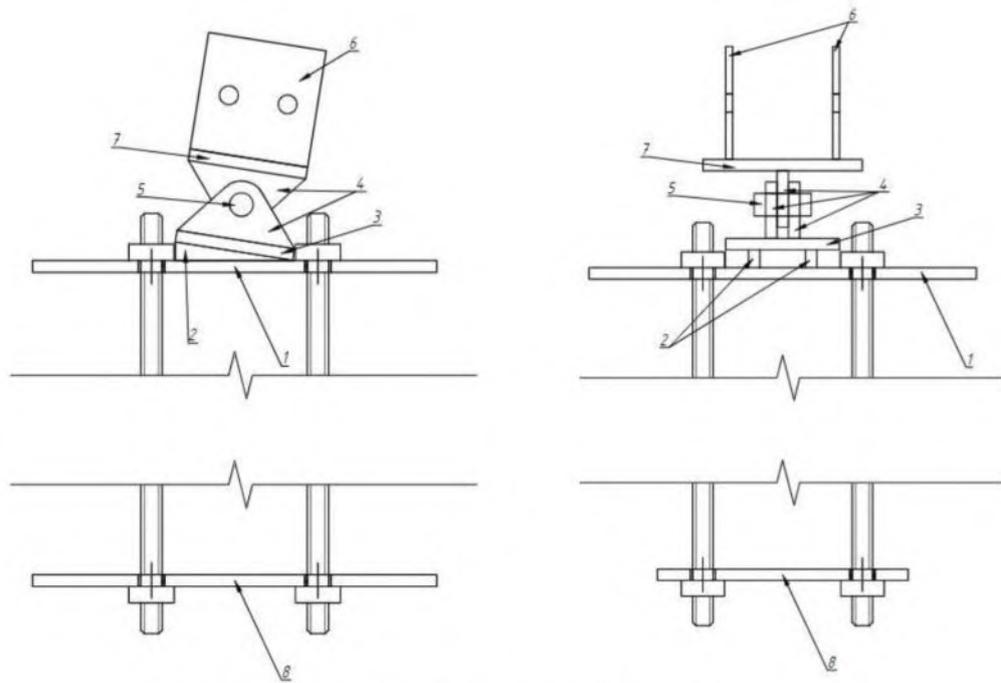


Рисунок 101 – Схема крепления опоры



Рисунок 102 – Смонтированные опоры в «ручейке»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Каркас конструкции фрагмента туннеля состоит из трех одинаковых рам, изготовленных из стеклопластикового профиля 50x50x2 с толщиной стенки 2 мм (рис. 103). Так как стеклопластик является композитным материалом, который состоит из стекловолокна и полимерной смолы, он обладает высокой прочностью, жесткостью и легкостью, что делает его идеальным материалом для использования в качестве несущего элемента в туннельных конструкциях.

Рамы крепятся в шарнирные опоры с помощью болтов. Шарнирные опоры позволяют конструкции адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и нагрузкам на конструкцию. Для обеспечения большей надежности и жесткости в местах излома конструкции для соединения частей профилей дополнительно клеивались деревянные бруски-вставки (рис. 104), полностью повторяющие угол излома конструкции. Это позволяет уменьшить вероятность разрушения конструкции при значительных нагрузках и увеличить ее прочность.

Для более надежной фиксации в местах соединения профилей были предусмотрены пластиковые накладки со сквозным болтовым креплением. Это обеспечивает более прочное соединение профилей и уменьшает вероятность их разъединения в ходе испытаний.

Сборка каркаса конструкции осуществлялась поэлементно: каждая рама изготавливалась путем поочередного клеивания деревянных вставок в отдельные части стеклопластиковых профилей, далее рама собиралась воедино и устанавливалась в опоры. Такая сборка гарантирует, что каждый элемент конструкции надежно закреплен и правильно выровнен, в результате чего получается устойчивая и прочная конструкция.



Рисунок 103 - Смонтированные рамы, установленные в проектное положение



Рисунок 104 - Пластиковые накладки и деревянные бруски-вставки

Важным элементом каркаса являются связи (рис. 105). Они способствуют обеспечению неизменяемости пространственной системы и устойчивости элементов, обеспечивают совместную работу поперечных рам при нагрузках, а также создают жесткость каркаса, необходимую для обеспечения нормальных условий эксплуатации.

В рассматриваемой конструкции связевые элементы выполнялись из стеклопластикового профиля 40x20x2 (2 мм – толщина стенки). Крепление диагональных связей между рамами производится при помощи болтов и деревянных проставок для того, чтобы избежать изгиба связей и обеспечить более надежную фиксацию (рис. 105). Распорки вертикальных связей устанавливаются при помощи саморезов к накладке в узле соединения профилей рамы (рис. 107).



Рисунок 105 - Узел крепления связей

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата		85



Рисунок 106 – Крепление вертикальных связей конструкции



Рисунок 107 – Способы крепления связей к узлам

В рассматриваемой конструкции туннеля в качестве покрытия применяется светопрозрачная пленка F-40. Это современный материал, который имеет высокую

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

светопропускную способность, обладает высокой устойчивостью к воздействию атмосферных факторов, таких как ультрафиолетовое излучение, осадки.

Монтаж светопрозрачной пленки Р-40 на натурную модель конструкции туннеля производился при помощи герметика для обеспечения плотного прилегания и деревянных реек, насаженных кровельными саморезами. Шаг саморезов в рейке составлял 50 мм.



Рисунок 108 - Покрытие конструкции пленкой Р-40

Поскольку в ходе эксперимента был применен только фрагмент конструкции, состоящий из трех рам, а не ее полная модель, для обеспечения фиксации системы в проектном положении при проведении эксперимента с нагрузками было использовано раскрепление, приведенное к бетонным блокам, по четырем углам модели.



Рисунок 109 - Раскрепление конструкции

					Лист
					87
Изм.	Лист	№ Закум.	ПйЗпись	Пага	



Рисунок 111 – Тензометрический датчик на конструкции

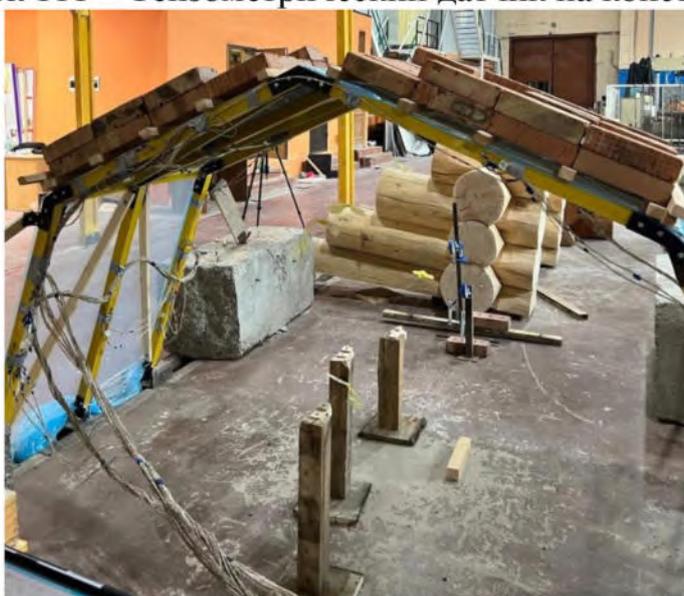


Рисунок 112 – Измерительное оборудование



Рисунок 113 – Прогибомер

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При изготовлении арочной конструкции были оценены:

- технологичность изготовления элементов и узлов конструкций;
- возможность демонтажа конструкций;
- технология монтажа.

5.4 Методика и проведение эксперимента

С целью изучения действительной работы элементов и соединений разработанного арочного каркаса на основе стеклопластиковых профилей, а также выявления степени достоверности результатов численных исследований и проверки расчетных предпосылок, принятых при проектировании, был проведен эксперимент с арочной моделью.

При силовом воздействии на конструкцию исследовали:

- напряженно-деформированное состояние элементов и соединений конструкций и сопоставили его с теоретическим;
- деформативность конструкций;
- особенности работы стеклопластика с учетом сложного напряженно-деформированного состояния, а также с учетом предварительного выгиба.

Изготовление опытных конструкций было осуществлено в соответствии с требованиями ГОСТ 27380-87.

Перед испытаниями конструкцию тщательно обследовали визуально. Фактические дефекты стеклопластика в элементах стержней были сопоставлены с допускаемыми. Кроме этого, проверяли качество исполнения конструкций (точность, приторцовки и т.п.). Была проведена проверка соответствия генеральных размеров проектным. Подготовка арочного каркаса к испытанию показана на рис. 114.



Таблица 18 - Порядок и интенсивность нагружения конструкции.

№ ступени нагружения	Интенсивность нагрузки, кН			
	Ступени		Всего	
	Внешняя нагрузка	С учетом собственного веса	Внешняя нагрузка	С учетом собственного веса
1	2,943			
2(Нормативная)	5,886			
3	8,949			
4(Расчетная)	11,932			
5(0,75μ; 1,25μ)	8,952;14,912			

Для обеспечения соответствия статической работы проектной схеме, опирание конструкции осуществлялось жестко по шести опорам.

Схема расстановки приборов на арочной конструкции приведена на рис. 115.

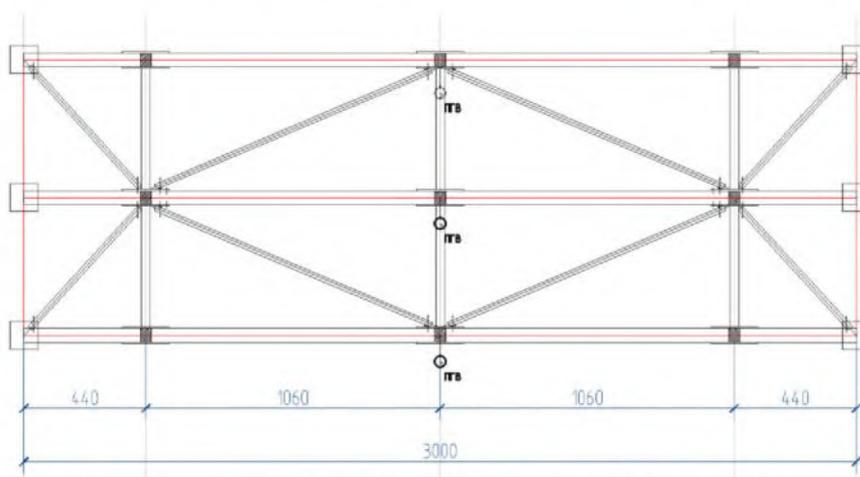


Рисунок 115 – Схема прогибомеров бПАО-ЛИСИ (ПГВ)

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

Для регистрации горизонтальных и вертикальных перемещений конструкций использовали прогибомеры 6ПАО-ЛИСИ с ценой деления 0,01 мм, которые устанавливали в характерных точках. Относительные деформации в элементах арки из стеклопластика регистрировали тензорезисторами с базой 5 мм при помощи тензометрической системы ММТС-64.01. В наиболее нагруженных элементах структуры конструкции усилия регистрировали при помощи использования тензорезисторов с базой 5 мм и тензометрической системы ММТС-64.01. Количество использованных в испытаниях приборов приведено в таблице 19.

Таблица 19 · Номенклатура измерительных приборов.

Марка испытываемой арочной конструкции	Количество приборов, шт.	
	Прогибомеры 6ПАО	Тензорезисторы ФКП-5-200, база 5 мм
АСК-9	6	36

В экспериментах отсчеты по приборам брали непосредственно перед приложением нагрузки и сразу же после нагружения. Отсчеты снимали всегда в одной и той же последовательности от середины пролета к опорам.

Кроме этого, соблюдали следующие условия:

- нагрузку прикладывали ступенями в равные промежутки времени, составляющие 15...20 мин;
- испытываемую конструкцию выдерживали после приложения нагрузки в течение трехкратного времени загрузки.

С целью получения наиболее достоверных результатов, в ходе эксперимента для реализации нагружения использовались кирпичи, так как именно кирпичами можно обеспечить равномерную нагрузку на покрытие конструкции, кроме того, их преимуществом является простота исполнения при нагружении.

Нагружения проводились в несколько этапов, 1 степень нагружения:

- Вес кирпича - 3,5 кг с отверстиями и 3 кг без отверстий;
- Размеры кирпича 250x120x65мм.

К стержням стеклопластика были прикручены деревянные рейки, для упрощения выкладки материалов нагружений, с шагом 25 см. Укладываются кирпичи стык в стык и с небольшим расстоянием друг от друга. Всего было уложено 86 кирпичей, весом по 3,5 кг каждый, $300 \text{ кг} / 3,5 \text{ кг} = 86$ кирпичей на 1 степень, общая нагрузка в 1 степени составила 300 кг.

Сплошной штриховой линией показан второй ряд кирпичей.

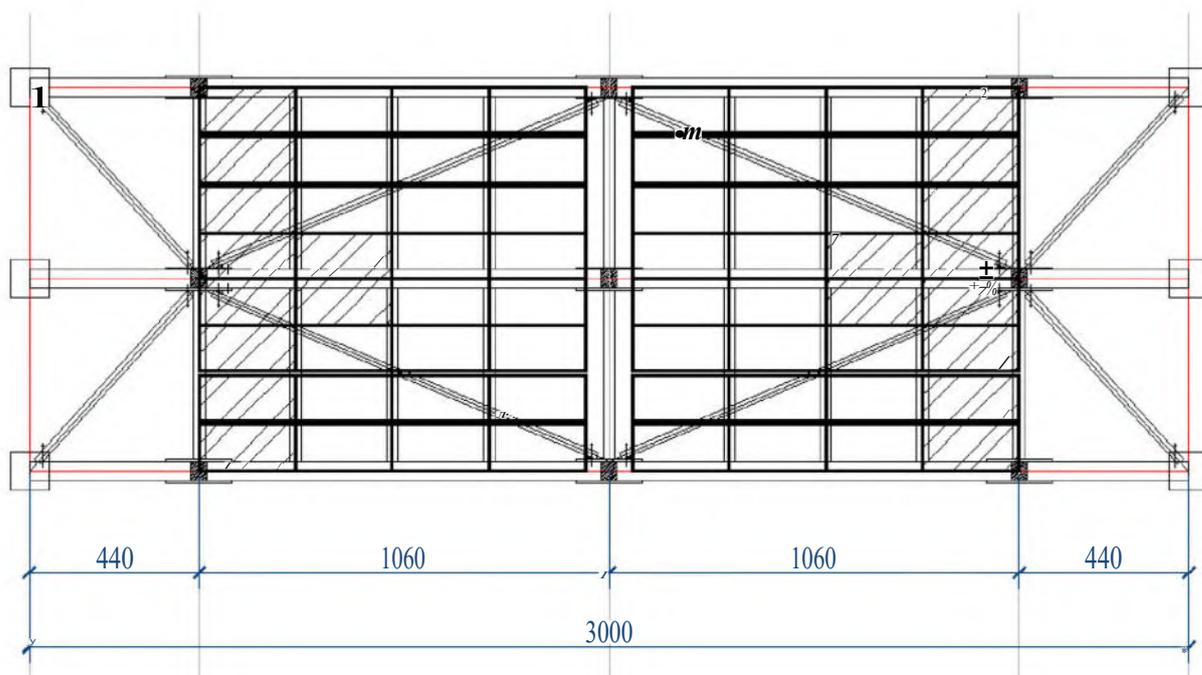


Рисунок 116 - 1 ступень нагружения модели АСК-9

2 ступень нагружения:

- Вес кирпича - 3,5 кг с отверстиями и 3 кг без отверстий;
- Размеры кирпича 250x120x65мм.

К стержням стеклопластика были прикручены деревянные рейки, для упрощения выкладки материалов нагружений, с шагом 25 см. Укладываются кирпичи стык в стык и с небольшим расстоянием друг от друга. Всего было уложено 172 кирпича вместе с 1 нагружением, весом по 3,5 кг каждый, $300 \text{ кг} / 3,5 \text{ кг} = 86$ кирпичей на 1 ступень, общая нагрузка во 2 степени составила 600 кг.

Сплошной штриховой линией показан второй ряд кирпичей, добавлены кирпичи и в коньке в 2 ряда.

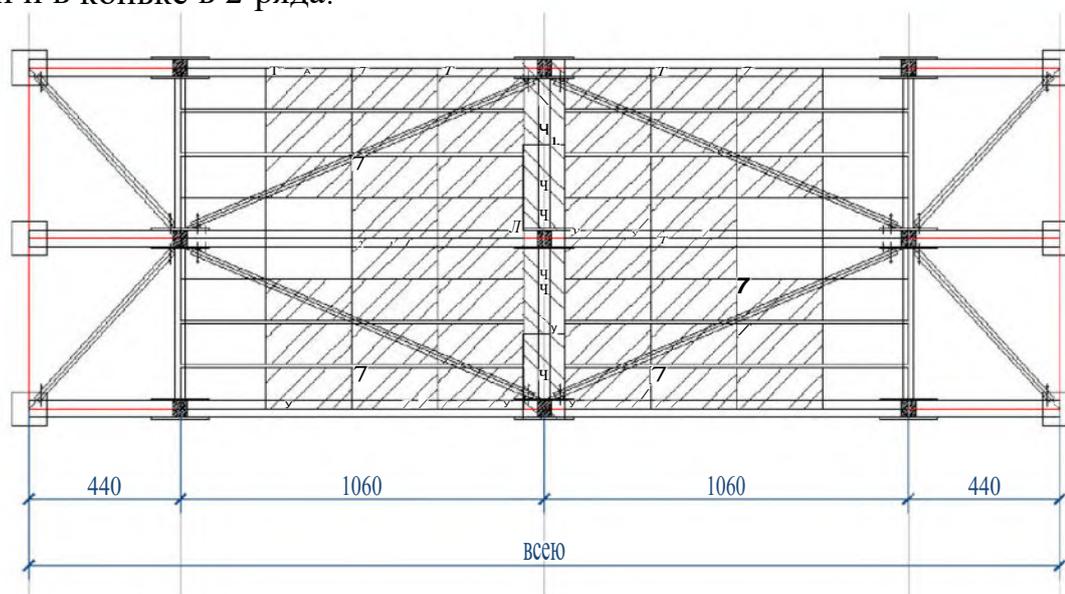


Рисунок 117 - 2 ступень нагружения модели АСК-9

Изм.	Лист	№ Оакум.	Подпись	Дата

распределенной снеговой нагрузки согласно вариантам 0,75p и 1,25p для двускатных покрытий [5].

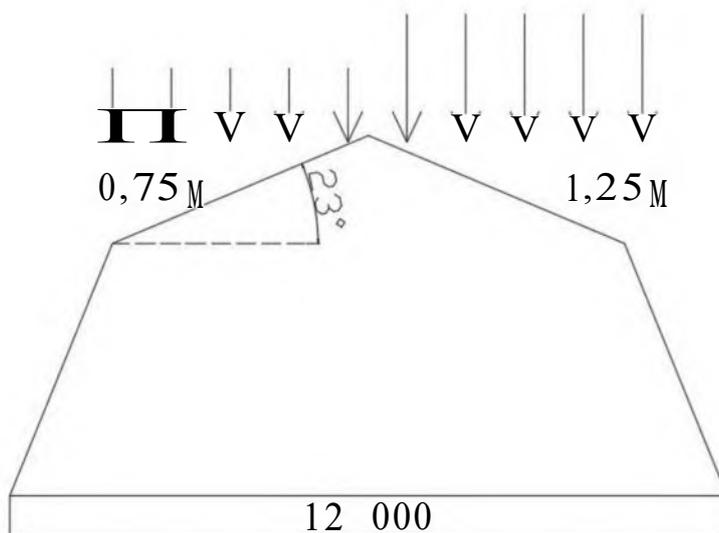


Рисунок 119 - Схема нагружения 5 степени модели АСК-9

Во время испытаний производили непрерывное наблюдение за поведением исследуемой конструкции (появление трещин от скалывания, разрывов волокон и других повреждений).

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	Подпись	Дата		96

6. Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований

Для определения достоверности численных исследований, полученных с помощью ПК Лира, были сняты показания возникающих при силовом воздействии продольных сил в элементах конструкции с помощью тензометрических датчиков системы ММТС-64.01.

Полученные данные с тензометрических датчиков выводились на персональный компьютер в виде множества численных величин возникающих напряжений в течение всего периода проведения эксперимента. Обработка полученных результатов состояла в графическом отображении величин продольных сил на каждом этапе загрузки конструкции.

Для наглядности сравнения экспериментальных результатов и результатов, полученных при помощи программного комплекса, для отдельных элементов одной из рам натурной модели туннеля, были построены графики (рис. 120,121,122,123), отображающие поведение конструкции в виде величин продольных сил. Показания с тензометрических датчиков показаны красным.

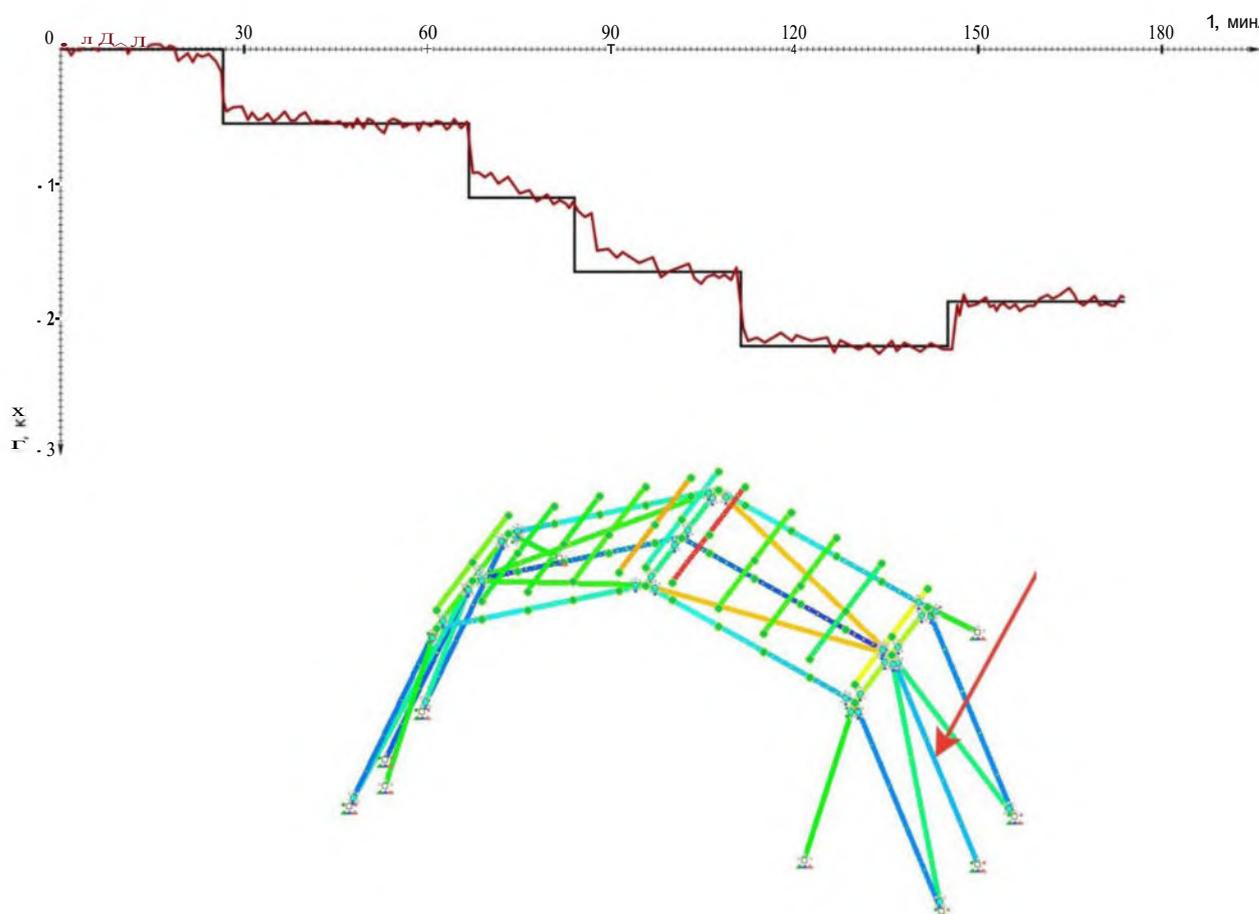


Рисунок 120 - Сравнение теоретических и экспериментальных значений продольных сил для элемента №1 рамы конструкции

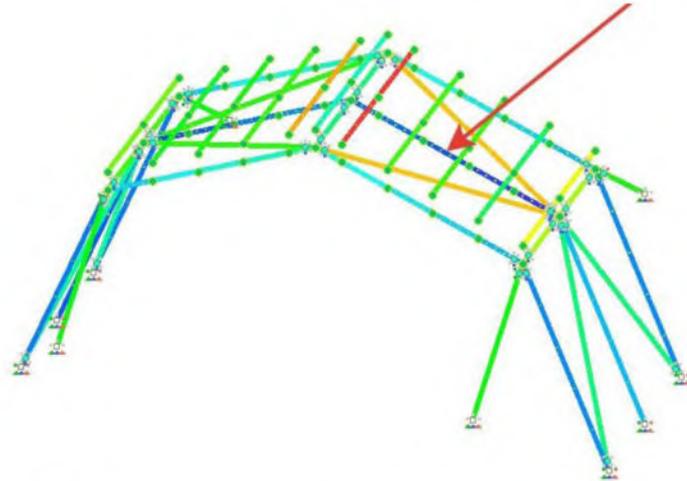
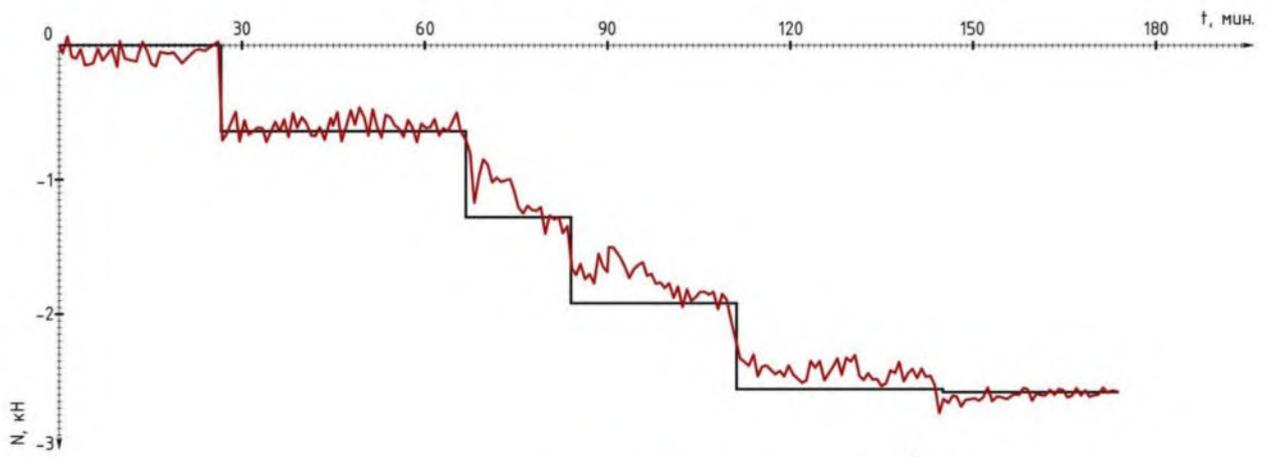
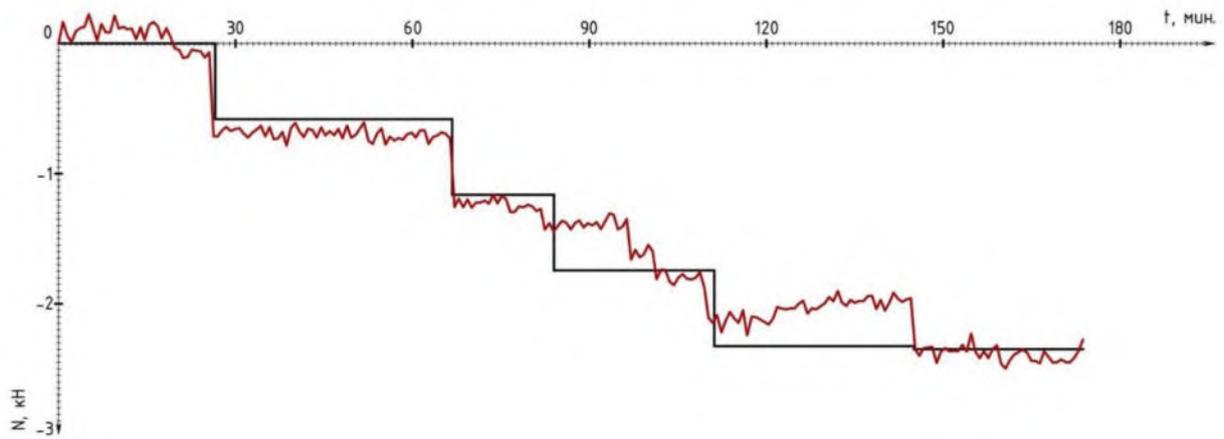


Рисунок 121 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений продольных сил для элемента №2 рамы конструкции



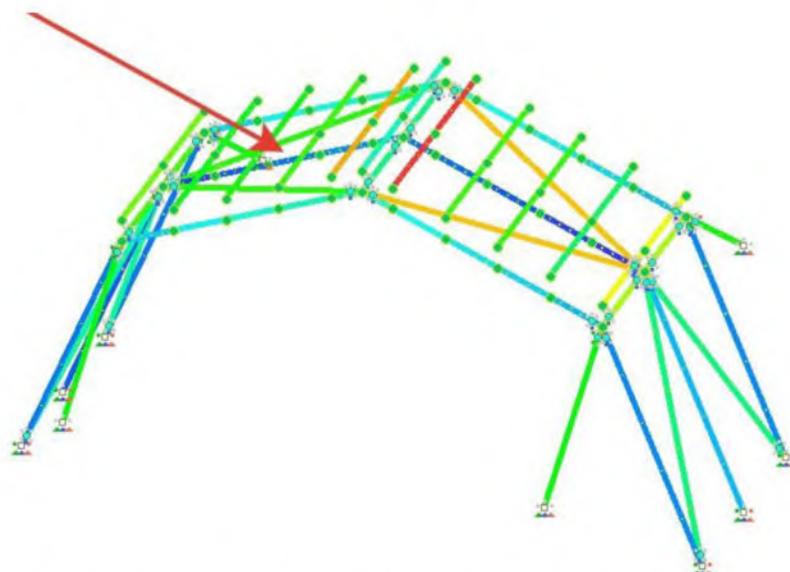


Рисунок 122 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений продольных сил для элемента №3 рамы конструкции

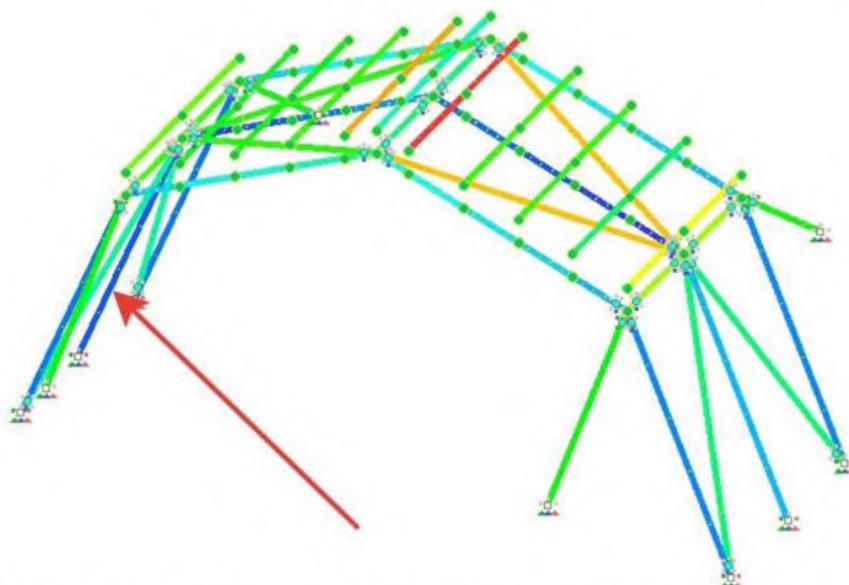
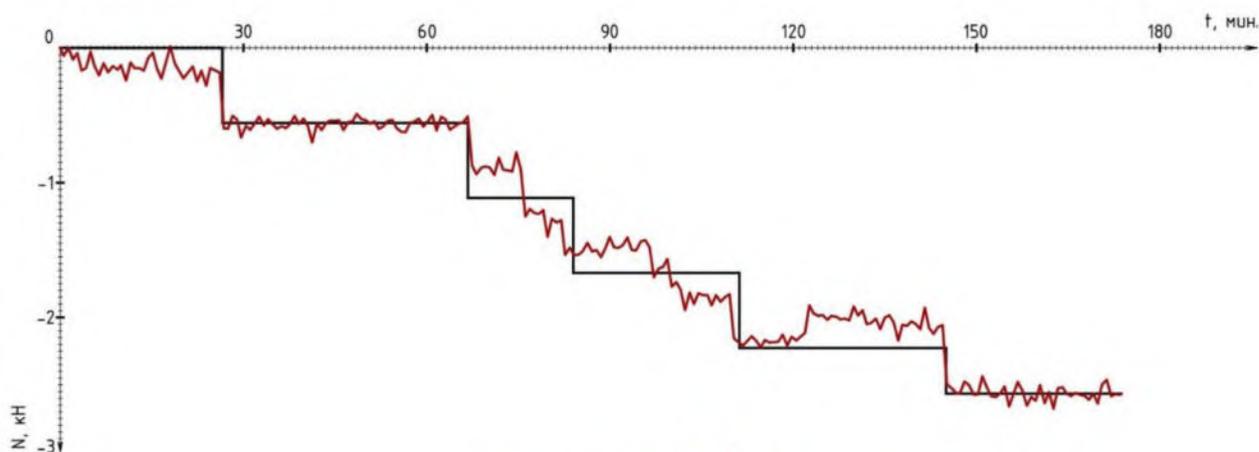


Рисунок 123 – Сравнение теоретических и экспериментальных значений продольных сил для элемента №4 рамы конструкции

По результатам проведения эксперимента модель не была доведена до разрушения и выдержала расчетную нагрузку, заданную для района города Норильск. Как видно из графиков, значения продольных сил совпадают по направлению изменения величин и наиболее приближены к значениям, полученным благодаря численным исследованиям по каждой ступени нагружения в ходе всего эксперимента. Точного численного совпадения результатов получить невозможно ввиду наличия шумов в системе передачи данных от датчиков, а также в силу непрофессионального монтажа конструкции для эксперимента, а точнее, конструкции узлов модели.

При исследовании поведения натурной модели на предмет прогибов, было выявлено, что в результате пяти ступеней нагружения максимальный прогиб узловых соединений в коньке составил 7 см, данные с прогибомеров для каждой ступени нагружений представлены в таблице 20. Снимались данные сразу же после нагружения ступени и спустя 20 минут, узлы определенных рам конструкции значительно менялись в показаниях и прогиб был увеличен.

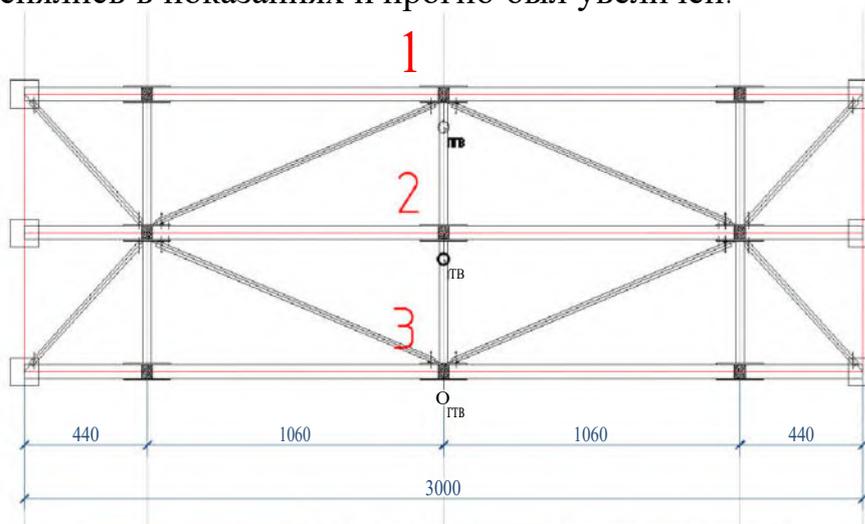


Рисунок 124 - Схема прогибомеров модели

Изм.	Лист	№ Закуп.	Подпись	Дата

Таблица 20 - Значений прогибов узловых соединений

№ узла / ступени нагрузки	Прогиб узловых соединений, см		
	1	2	3
1	0,42	0,165	0,57
1(20 минут)	0,46	0,165	0,576
2	1,028	1,73	2,27
2(20 минут)	1,146	2,443	2,653
3	2,793	3,325	3,65
3(20 минут)	3,095	3,425	3,718
4	5,094	5,55	6,135
4(20 минут)	6,435	6,579	7,07
5(0,75ц)	6,505	6,577	7,05
5(1,25ц)	6,533	6,588	7,053
5(0,75ц; 1,25ц; 20 минут)	6,535	6,588	7,054

По полученным результатам максимальный прогиб составил 7,054 см, что не соответствует нормативному, на основании ранее вычисленных значений, максимальный прогиб узла конька может составлять 4,8 см. Наиболее большое значение прогиба показал узел №3, но в основном конструкция вела себя равномерно, так как были учтены все мероприятия для обеспечения целостности конструкции.

Экспериментальное нагружение натурной модели конструкции для туннельных сооружений показало, что такая конструкция выдерживает нагрузки, которые принимаются для северного региона, и имеет запас прочности, что исключает обрушение. Была доказана достоверность определения усилий в элементах конструкции, возникающих в результате действия внешних силовых факторов, с помощью ПК Лира. Теоретические и экспериментальные показания совпадают.

Однако, анализ результатов с помощью прогибомеров выявил, что прогиб конькового узла превышает нормативные значения на 2,2 см. Для предотвращения больших прогибов можно различными способами усилить конструкцию или использовать более жесткие материалы для конструкции узлов.

В целом, результаты эксперимента говорят о том, что использование стеклопластика в качестве несущей конструкции для туннельных сооружений в северных регионах является рентабельным и безопасным решением, что может быть полезно для организации строительства в этих регионах.

7. Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции

Общие требования.

Работы по сооружению объекта включают следующие технологические операции:

- Подготовка рабочей площадки и приемка фундаментов
- Монтаж конструкции
- Завершающие работы

Работы производить с соблюдением условий безопасности движения транспорта, пешеходов и производственного персонала, с обеспечением сохранности существующих зданий, сооружений и коммуникаций, находящихся в зоне строительства.

Сборка осуществляется из отдельных элементов - пултрузионных профилей с помощью болтовых соединений.

Зоны проведения сварочных работ должны быть ограждены металлическими щитами для защиты пултрузионных профилей от попадания окалины на их поверхности. К сварочным работам относится устройство опорных узлов, монтажных элементов, отбойников дороги.

1. Подготовка рабочей площадки и приемка фундаментов:

- Очистка поверхности установки конструкции;
- Приемка места установки конструкции, подготовленных и смонтированных фундаментов, которые должны осуществляться в соответствии с проектом, составленным с учетом местных условий;
- Подготовка инструментов и оборудования, учитывая особенности климатических условий;

При сборке из отдельных пултрузионных профилей используют два вида шайб:

- при контакте болта с полимерным композитным материалом в соединении устанавливают увеличенные шайбы по ГОСТ 6958;
- при контакте болта с металлическим элементом в соединении устанавливают обычные шайбы по ГОСТ 11371.

2. Изготовление конструкции:

Конструкция туннеля представляет собой стеклопластиковые рамы и связи, покрытые пленкой, опирающиеся на железобетонные столбики высотой 1 м, которые, в свою очередь, опираются на фундамент в виде буроопускной сваи. Между столбиками смонтированы монолитные стенки для предотвращения попадания снега внутрь туннеля под конструкциями арок.

Предполагается, что грунт в месте возведения туннеля - твердомерзлый, а не пластичномерзлый, и устройство фундаментов не требует опоры свай на высокоплотные слои, что дает возможность использовать более короткие сваи, которые достаточно заглубить ниже уровня сезонного оттаивания на 1-1,5 м или более.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		102

Первой стадией возведения является бурение скважин под буроопускные сваи с применением обсадной трубы. Диаметр скважины должен быть на 5-15 см больше диаметра сваи. В случае использования сваи, поперечное сечение которой составляет 400x400 мм, диаметр скважины составляет 700 мм, т.к. диагональ такой квадратной сваи - 565 мм. Глубина скважины в нашем случае - 3,5 м. После бурения производится очистка дна скважины от разрыхленной и осыпавшейся почвы.

После бурения скважин, производится установка в них буроопускных свай. Для заполнения полости между скважиной и свайей используется цементно-песчаный раствор. Перед опусканием сваи, скважина заполняется на треть глубины цементно-песчаным раствором. В процессе опускания, железобетонная конструкция выдавливает раствор, и он равномерно распределяется по пространству между стенками сваи и скважины. Затем, оставшаяся полость заполняется раствором, а свая фиксируется боковыми распорками. Обсадная труба демонтируется.

После 7 суток твердения раствора в скважине, производится срубка оголовка сваи и оголение ее арматуры. Монтируется каркас столбика и стенки, а также закладная деталь для установки опоры арок. Данная закладная деталь выводится на необходимый уровень при монтаже до заливки бетона.

Затем производится установка опалубки столбиков и стенок, заливается бетон класса В25. После 7 суток твердения опалубка снимается, а на закладные детали в оголовках столбиков привариваются опоры арок.

При помощи крана производится монтаж арок в проектное положение. Для придания устойчивости, в коньке устанавливаются связи в первую очередь. Затем, когда кран не будет представлять опасности для рабочих, монтируются все остальные связи.

Затем, производится устройство пленки. На стеклопластиковой раме производится сверление отверстий под болты, затем наносится слой герметика. Далее - укладывается пленка и прижимается деревянными рейками. Рейка и рама стягиваются при помощи болтов. Снаружи применяются шайбы и резиновые прокладки для предотвращения попадания влаги внутрь конструкции.

3. Завершающие работы:

- Очистка рабочей площадки от строительного мусора и оборудования с использованием специальных средств, учитывая особенности климатических условий (например, возможность образования льда на поверхности)

Контроль качества:

- Проверка готовой конструкции на соответствие проектной документации и требованиям безопасности.

- Осмотр конструкции на наличие дефектов и повреждений с использованием специальных приборов.

- Проведение испытаний на прочность и устойчивость конструкции с использованием специальных методов.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	Подпись	Дата		103

· Допускается контролировать величину или отсутствие усилий в элементах ПСПК с применением тензометрического метода контроля деформаций в конструкциях по ГОСТ Р 52728.

· В процессе монтажа при подъеме, опускании и перемещении пролетных строений необходимо:

· следить, чтобы подъем и опускание выполнялись строго вертикально, при этом оттяжку конструкций лебедками применять запрещается;

· соблюдать зазор не менее 0,2 м между низом устанавливаемой конструкции и головкой рельса или грунта, а между низом устанавливаемой конструкции и выступающими частями смонтированных конструкций - не менее 0,5 м;

· Во время перерывов в работе не допускается оставлять на весу поднятое пролетное строение или технологическое оборудование.

· В связи с относительно малой массой запрещается выполнять монтажные работы на высоте при скорости ветра 10 м/с и более, а также во время грозы или тумана, ослабляющих видимость объекта в пределах фронта работ.

Подбор кранового оборудования:

Для возведения туннельной конструкции принимаем автомобильный кран. Подбираем кран аналитическим методом по наиболее тяжелому элементу - наиболее тяжелый элемент - стеклопластиковая рама 0,234 т.

· Грузоподъемность крана определяем по формуле:

$$Q_k = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_m + \lambda_y = 0,234 + 0,108 \ll 0,342 \text{ т}, \quad (37)$$

где λ_1 - масса наиболее тяжелого элемента;

λ_2 - масса грузозахватного устройства (траверса грузоподъемностью 1,5 т);

λ_m - масса монтажных приспособлений;

λ_y - масса элементов усиления.

· Высота подъема стрелы:

$$H_k = l_d \cdot b \cdot H_3 + H_1 + H_2 = 7,105 + 0,2 + 0,5 + 4,5 = 12,305 \text{ м}, \quad (38)$$

где K - расстояние от уровня стоянки крана до опоры монтируемого элемента;

l_d - высота подъема элемента над опорой;

H_1 - высота элемента в положении подъема;

H_2 - высота грузозахватного устройства.

Согласно каталогу монтажных кранов, выбираем автомобильный кран, минимальные рабочие параметры которого были бы не меньше вычисленных выше монтажных характеристик. Этим требованиям отвечает автомобильный кран Ивонец КС-35719-1 с рабочими параметрами:

· грузоподъемность: $C_{кАБ} = 15 \text{ т}$;

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		104

- максимальная высота подъема стрелы: $Y_{AB} = 14,5$ м;
- вылет стрелы: минимальный $S_{РАБ} = 1,9$ м, максимальный $B^{РАБ} = 17$ м.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закуп.	ПаЗпись	Пата		105

8. Экономическое обоснование, ТЭП

Строительство автотранспортного туннеля из стеклопластиковых профилей в регионах крайнего севера имеет ряд социально-экономических преимуществ.

Во-первых, такой туннель будет способствовать развитию экономики регионов крайнего севера. Это связано с тем, что транспортная инфраструктура на севере оставляет желать лучшего, что приводит к высоким транспортным издержкам и усложнению деловой активности в регионе. Строительство потенциального туннеля позволит устранить эту проблему и значительно повысить социально-экономический уровень регионов крайнего севера.

Во-вторых, сокращение времени, необходимого для перевозки грузов и пассажиров, которое обусловлено уменьшением пробок и улучшением дорожной инфраструктуры, приведет к повышению эффективности и экономичности перевозок. Это, в свою очередь, приведет к увеличению конкурентоспособности регионов крайнего севера и повышению их привлекательности для инвесторов.

В-третьих, строительство туннеля из стеклопластиковых профилей значительно снизит нагрузку транспортных магистралей регионов крайнего севера, что позволит уменьшить экологическую нагрузку в регионе и повысить качество жизни местного населения.

В-четвертых, использование туннельного сооружения из стеклопластиковых профилей на крайнем севере является экономически выгодным решением, так как конструкция обеспечивает защиту дорог от снега и обеспечивает их чистоту, что позволяет сократить затраты на содержание и ремонт дорожного полотна.

В сравнении с другими материалами, такими как дерево и металл, стеклопластик имеет ряд преимуществ. Он обладает высокой прочностью и износостойкостью, что позволяет увеличить срок эксплуатации конструкции. При этом стеклопластик не требует дополнительной обработки и защитного покрытия, что снижает трудозатраты и экономит ресурсы.

Еще одним преимуществом стеклопластика является возможность изготовления сложных форм и элементов конструкции. Это позволяет ускорить процесс монтажа и снизить затраты на строительство.

Использование туннельного сооружения из стеклопластиковых профилей также способствует бесперебойной подаче питания и необходимых продуктов на частные и коммерческие объекты. В условиях крайнего севера это особенно важно, так как обеспечение жизнедеятельности населенных пунктов зачастую зависит от доступности продуктов и необходимого оборудования.

Другие экономические факторы, связанные с использованием стеклопластика, включают снижение расходов на ремонт и обслуживание, увеличение срока эксплуатации объектов, сокращение трудозатрат и ускорение монтажа. Все это позволяет снизить общую стоимость строительства и эксплуатации инженерных сооружений, что является важным фактором в экономической эффективности использования стеклопластика.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		106

Таким образом, строительство автотранспортного туннеля из стеклопластиковых профилей имеет множество социально-экономических преимуществ, которые позволят повысить уровень жизни местного населения, улучшить транспортную инфраструктуру регионов крайнего севера и повысить качество возводимых линейных объектов.

Строительство туннеля для автотранспорта в северных регионах может оказаться экономически выгодным, но для того чтобы говорить о такой возможности, необходимо провести детальный анализ и оценку экономической эффективности проекта.

Так, если все риски и факторы будут учтены при проектировании, то строительство туннельного сооружения может быть таким же экономически выгодным, как и строительство Крымского моста, которое позволило устранить проблемы удаленности жителей и бизнеса от крупных городов и привлечь инвестиции в регион, что в конечном итоге окупилось не только финансово, но и социально.

Рассмотрим динамику экономических показателей в Республике Крым с 2017 по 2022 гг на основании данных Федеральной службы государственной статистики.

Таблица 21 - Динамика экономических показателей в Республике Крым

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Валовой региональный продукт, млн руб	384 983	437 438	475 525	517 147	586 497	608 306
Объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млн руб	60 781	151 953	138 846	142 865	102 472	149 554
Динамика оборота розничной торговли, млн руб	2 200	2 800	3 050	3 500	3 700	4 000

Как видно, введение в 2018 г. в эксплуатацию Крымского моста положительно сказалось на экономике республики. Мост связал Крым с Россией и создал новые возможности для развития туризма, торговли и поставок. Кроме того, мост снизил издержки на транспортировку товаров и стал стимулом для развития малого бизнеса на полуострове.

Аналогичные положительные последствия ожидают и рассматриваемый в работе туннель. Строительство данного сооружения приведет к развитию местной экономики, повышению уровня инвестиционной привлекательности и сокращению транспортных затрат. Более того, новый туннельный проект не только улучшит транспортную доступность севера Красноярского края, но и обеспечит устойчивый рост экономики региона в целом.

Таким образом, проекты по строительству транспортных сооружений, таких как Крымский мост и туннельное сооружение на севере Красноярского края, являются важными мерами для повышения экономической эффективности регионов и страны в целом.

С целью определения экономической эффективности применяемого в конструкции туннеля материала - стеклопластика - было проведено сравнение по трудоемкости работ с другими, часто используемыми в строительстве материалами, - деревом и металлом.

Таблица 22 - Исходные данные (по обоснованию состава и расхода элементов конструкции туннеля) для оценки трудоемкости работ по монтажу

Элемент/Материал	Металл (Сталь)	Дерево (Сосна)	Стеклопластик
Арки	29,973 т	85,92 м ³	34,47 м ³
Прогоны	19,251 т	10,65 м ³	11,52 м ³
Связи	5,867 т	11,01 м ³	3,51 м ³
Всего	55,091 т	107,58 м ³	49,5 м ³

Применяя сборники государственных элементных сметных нормативов на строительные и специальные строительные работы, вычислим трудоемкость работ с использованием различных материалов для монтажа конструкции.

Таблица 23 - Расчет трудоемкости работ по монтажу конструкций из металла

Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Трудозатраты на ед., чел·ч	Трудозатраты всего, чел·ч
ГЭСН 09-01-002-01	Монтаж элементов каркасов быстровозводимых одноэтажных зданий из стальных сварных профилей на болтовых соединениях (без применения сварки): рам основного несущего каркаса	т	29,973	35,46	1062,84
ГЭСН 09-01-002-03	Монтаж элементов каркасов быстровозводимых одноэтажных зданий из стальных сварных профилей на болтовых соединениях (без применения сварки): кровельных прогонов	т	19,251	25,48	490,52
ГЭСН 09-01-003-03	Монтаж элементов каркасов быстровозводимых многоэтажных зданий из стальных сварных профилей на болтовых соединениях (без применения сварки): связей	т	5,867	17,3	101,5
Всего					1654,86

Таблица 24 - Расчет трудоемкости работ по монтажу конструкций из дерева

Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Трудозатраты на ед., чел·ч	Трудозатраты всего, чел·ч
ГЭСН 10-01-001-01 (применительно)	Укрупнительная сборка и установка конструкций арок и ферм сегментных с металлической затяжкой пролетом: 18 м	шт	50	19,7	985
ГЭСН 10-01-082-02 (применительно)	Укладка по фермам прогонов: из брусьев	м³	11,01	14,8	162,95
ГЭСН 10-01-082-01 (применительно)	Укладка по фермам прогонов: из досок	м³	10,65	14	149,1
Всего					1297,05

В связи с отсутствием сметных норм на выполнение работ по сборке и установке стеклопластиковых конструкций для расчета затрат труда рабочих будут использоваться сметные нормы ранее представленных материалов. Так как по составу работ и по включенным в норму материалам ближе всего монтаж деревянных конструкций – будем рассчитывать трудозатраты монтажа стеклопластиковой конструкции, исходя из данных, представленных в таблице 24.

Таблица 25 – Расчет трудоемкости работ по монтажу конструкций из стеклопластика

Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Трудозатраты на ед., чел·ч	Трудозатраты всего, чел·ч
ГЭСН 10-01-001-01 (применительно)	Укрупнительная сборка и установка конструкций арок и ферм сегментных с металлической затяжкой пролетом: 18 м	шт	50	19,7	985
ГЭСН 10-01-082-02 (применительно)	Укладка по фермам прогонов: из брусьев	м³	3,51	14,8	51,95
ГЭСН 10-01-082-01 (применительно)	Укладка по фермам прогонов: из досок	м³	11,52	14	161,28
Всего					1198,23

Анализ представленных выше расчетов показывает, что стеклопластиковая конструкция в сравнении с металлической и деревянной уступает по трудоёмкости монтажа. По расходу материала стеклопластик также наиболее выгоден. Следовательно, наиболее экономически выгодной является конструкция из стеклопластика.

Неотъемлемой частью строительного процесса является доставка строительного материала к месту возведения. Поэтому возникает потребность подбора наиболее выгодного способа доставки с учетом того, что предполагаемое

место возведения находится в г. Норильск, а предполагаемый производитель - в г. Нижний Новгород. Далее рассмотрим два поставщика - ООО «ПЭК» и АО «БРО».

В результате того, что сайты выбранных для сравнения компаний по доставке не учитывают сверхгабаритные грузы, которыми являются перевозимые стеклопластиковые арки, объем и вес были подобраны таким образом, чтобы они совпадали с ранее вычисленными значениями из ПК Лира-СОФТ. На основе автоматического расчета на сайтах перевозчиков, был произведен конъюнктурный анализ (приложение А). Наиболее выгодную стоимость доставки предоставляет ООО «ПЭК».

Так как производитель стеклопластикового профиля не предоставляет в линейке готовых изделий продукцию необходимого сечения, учитывая его изогнутую форму, стоимость материала в расчете цены не рассматривается. Расчет цены за изделия необходимого сечения и формы производится только под заказ.

Таблица 26 - Расчет стоимости доставки элементов конструкции туннеля

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Вес ед., кг	Вес всего, кг	Вес с учетом упаковки, кг	Цена доставки
Стеклопластиковые арки	шт.	50	234,12	11706	14047,2	1 631 146,05
Прогоны	шт.	450	15,35	6907,5	8289	962 509,94
Связи	шт.	100	21,052	2105,2	2526,24	293 344,33
ИТОГО:				20718,7	24862,44	2 887 000,32

Вывод: был произведен конъюнктурный анализ двух перевозчиков и выбран наиболее выгодный по стоимости доставки стеклопластиковых конструкций из г. Нижний Новгород в г. Норильск. На основе полученной цены был произведен расчет стоимости доставки элементов конструкции туннеля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты. Справочный материал / Федеральное агентство по управлению государственным имуществом М.: ОАО "НИЦ "Строительство", 2013 год
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменениями N 1, 2). - Введ. 01.01.2013. - М.: Минстрой России, 2015 год
3. Квагинидзе В.С., Козлов В.А. Влияние низких отрицательных температур на работоспособность металлоконструкций горных машин / Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 9, с. 16- 18
4. Сравнение композитных материалов с металлами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [ййрз://ЛаГкот.ш/8гаупешуе-котро2йпуклl-талеpalou-8-те:allaшl/](http://yprz://lagkot.sh/8gaupeshue-kotro2yпyкll-talepalou-8-те:allaшl/) (дата обращения: 10.02.2023)
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. - Взамен СП 20.13330.2011; введ. 04.06.2017. - М.: ОАО ЦПП, 2017. - 125с
6. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-23-81*. - Взамен СП 16.13330.2011; Введ. 28.08.2017. - М.: ОАО ЦПП, 2017. - 181с.
7. ЕНиР: Комплект / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1987
8. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. - Введ. 01.08.2013. - Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 272
9. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - Введ. 19.12.2018. - М.: Минрегион России, 2019. - 152 с
10. Щербаков, Л.В. Расчет плиты перекрытия и фундамента под колонну многоэтажного здания: методические указания к курсовому проекту для студентов специальности 290300, 290600 всех форм обучения / Л.В. Щербаков - Красноярск: КрасГАСА, 2004. - 36с
11. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-25-80. - Взамен СП 64.13330.2011; введ. 28.08.2017. - М.: ОАО ЦПП, 2017. - 111с
12. Инжутов И.С. Конспект лекций по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» (мультимедийный вариант): учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство». 4.2 / И.С. Инжутов [и др.] - Иркутск: ИрГТУ; Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ; Новосибирск: НГАСУ, 2010. - 252 с

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		111

13. Филимонов, Э.Г. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник для вузов / Э.В. Филимонов [и др.]. - М.: Изд-во АСВ, 2010. - 422с
14. Шапошников, В.Н. Рамы деревянных каркасных зданий: учеб. пособие/ В.Н. Шапошников. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Красноярск: КрасГАСА, 2000. - 64с
15. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. - Взамен СП 22.13330.2011; введ. 17.06.2017. - М.: ОАО ЦПП, 2017. - 242с
16. СП 25.13330-2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. введ. 01.01.2013. - М.: ОАО ЦПП, 2013. - 109с
17. Гребенник, Р.А. Монтаж строительных конструкций, зданий и сооружений: учебное пособие / Р.А. Гребенник, В.Р. Гребенник. - М.: АСВ, 2009. — 312с
18. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии / Ф. Хансйорг [и др.]; под ред. А.К. Соловьева — М.: Техносфера, 2008. - 856с
19. Каталог схем строповок конструкций зданий и сооружений территориальных каталогов ТК-1-1.88 и ТК-1-2 и строительных материалов в контейнерах. - М.: МК ТОСП, 2002. - 58с
20. Каталог средств монтажа сборных конструкции здания и сооружения. - М.: МК ТОСП, 1995. - 64с
21. Градостроительный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2004 г № 190 - ФЗ. - М.: Юрайт- Издат. 2006. - 83 с
22. Дикман, Л.Г. Организация строительного производства: учеб. для строит, вузов / Л.Г. Дикман. - М.: АСВ, 2002. - 512 с
23. ГОСТ 9467-75 Electroды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы (с Изменением N 1) - Введ. 01.01.1977. - М.: Стандартиформ, 2008 год
24. ГОСТ 8.631-2013 (ОИМ К 60:2000) Государственная система обеспечения единства измерений (ГСП). Датчики весоизмерительные. Общие технические требования. Методы испытаний (с Поправками) - Введ. 01.07.2015. - М.: Стандартиформ, 2014 год
25. ГОСТ 27380-87 Стеклопластики профильные электроизоляционные. Общие технические условия - Введ. 01.01.1989. - М.: Издательство стандартов, 1987 год
26. ГОСТ 11371-78 Шайбы. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3) - Введ. 01.01.1979. - М.: Стандартиформ, 2006 год
27. ГОСТ Р 52728-2007 Метод натурной тензотермометрии. Общие требования - Введ. 01.10.2007. - М.: Стандартиформ, 2007 год
28. ГЭСН 81-02-09-2022. Государственные элементные сметные нормы на строительные работы ГЭСН-2001. России/Москва, 2000 г. - 88 с.

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		112

ПРИЛОЖЕНИЕ А

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закуп.	ПаЗпись	Пата		

1		1	№п/п
.		Ы	Код строительного ресурса
Доставка стеклопластиковых арок, 50 шт.		Ю	Наименование строительного ресурса, затрат
Доставка стеклопластиковых арок, 50 шт. ЭРО	Доставка стеклопластиковых арок, 50 шт. ПЭК	4	Полное наименование строительного ресурса, затрат в обосновывающем документе
шт.		а	Ед изм.
ЕД	ЕД	04	Ед. изм. строительного ресурса, затрат в обосновывающем документе
6 14354 С.Б.С.С.	0 4440	^	Текущая отпускная цена за ед. изм. в обосновывающем документе с НДС в руб.
46 10040 040	4 04100	00	Текущая отпускная цена за ед. изм. без НДС в руб. в соответствии с графой 5
.	.	40	Стоимость перевозки без НДС в руб. за ед. изм.
.	.	10	Сметная цена без НДС в руб. за ед. изм.
2023		11	Год
ы		Ю	Квартал
ООО «АРМПЛАСТ»/ АО «ДПД РУС»	ООО «АРМПЛАСТ»/ОО О «ПЭК»	04	Наименование производителя/поставщика
771801001	772101001	14	КПП организации
7713215523	7721823853	15	ИНН организации
ПирвУАллхлх.брб.ш/ Пирс://ресот.ги/	Пирс://ресот.ги/	16	Гиперссылка на веб- сайт производителя/поставщика
Нижний Новгород/Москва	Нижний Новгород/Москва	17	Населенный пункт расположения склада производителя/поставщика
1/0	1/2	10	Статус организации (производитель (1)/Поставщик (2)
ю	2	40	№ страницы прайс- листа в томе
4100		00	Согласованная заказчиком (минимальная) сметная стоимость без НДС за ед.изм (из графы 10)

Нижний Новгород А.1 - Конькобежный спорт

ПРАЙС ЛИСТ

ПЭК ■ ДОСТАВЛЯЕМ
■ СБОРНЫЙ ГРУЗ

+7 (495) 660-11-11

Нижний Новгород – Норильск

Груз: 49.44 м³, 19982 кг, 103 места

Автоперевозка	2 805 113,12
Страхование	1 000 Р
Организация страхования груза	300 Р
Защитная транспортировочная_угшавкл	80 587,1

ИТОГО • 2 887 000,32 Р

• Окончательная стоимость услуг будет уточнена по результатам взвешивания и обмера груза при приёмке на склад.

Расчет стоимости актуален на 19.06.2023 21:13

Рисунок А1 - Цена доставки ООО «ПЭК»

Сортировать по

Суммарная стоимость: сначала дешёвые 1/1

Срок доставки

По алфавиту

A+

 ЭРЭ  8 (800) 234-45-95  

 **Стоимость**
6 217 683 р.

Срок
35 дней

Тип доставки
 Автоперевозки

★ 2,26 150 отзывов
ОРО ЕСО ППОМУ 

Скрыть подробный расчёт

Доставка между терминалами 6 217 683 р. Жёсткая упаковка Не учитывается

[СТАТЬ КЛИЕНТОМ](#)

Рисунок А.2 - Цена доставки АО «БРИ»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

					ДР - 08.05.01.01 - 2023 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Закум.	ПаЗпись	Пата		

Развитию транспортной инфраструктуры в северных регионах часто препятствуют суровые погодные условия, особенно в зимние месяцы. Снежные заносы, обледенение и сильный ветер могут нарушить функционирование автомобильных дорог, что приводит к значительным экономическим потерям и создает угрозу для жизни людей. Потребность в надежном и эффективном решении для защиты автомобильных дорог побудила к рассмотрению и анализу возможности использования специальных туннельных конструкций.

В последние годы растет спрос на более устойчивые и экономичные решения при строительстве высокопроизводительных туннельных конструкций. Одним из таких решений является использование материалов из армированного стекловолокном пластика.

Объектом исследования является арочная конструкция туннельного типа из стеклопластика над дорожным покрытием в г. Норильск.

В рамках настоящей научно-исследовательской работы стояла цель разработки конструктивных решений туннельной конструкции из стеклопластика с учетом всех факторов, усложняющих функционирование системы, а также подбор наиболее оптимальных конструктивных решений.

Для достижения целей исследования были проведены испытания натурной модели туннельной конструкции из стеклопластикового профиля на нагрузку, полученную путем численного расчета в программном комплексе Лира, сравнение полученных результатов с результатами численного исследования, анализ экспериментальных данных для оценки принимаемых конструктивных решений по степени их эффективности, а также оценки механических свойств стеклопластика, как несущего элемента.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выбрать наиболее оптимальную форму сооружения для проведения эксперимента.
2. Провести численные исследования в программном комплексе Лира.
3. Построить уменьшенную натурную модель фрагмента туннельной конструкции с использованием стеклопластика в качестве несущего элемента.
4. Подвергнуть модель внешним нагрузкам, чтобы оценить поведение и реакцию конструкции.
5. Собрать экспериментальные данные о поведении конструкции и реакции модели, включая прогибы, деформации и напряжения.
6. Провести анализ экспериментальных данных и сравнить результаты с

теоретическими расчетами.

7. Оценить эффективность принятых конструктивных решений, в том числе использование стеклопластика в качестве несущего элемента и другие конструктивные особенности.

Также ставится задача определения оптимальных параметров технологического процесса строительства туннеля, включая выбор применяемых материалов, способов укрепления и параметров конструкции.

							ДР-08.05.01.01-2023 КР		
							ФГАОУ "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт		
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа			
Разработал	Кобыль Т.Е.					Страница	Лист	Листов	
Консультант	Плещинская М.А.					4	1		
Руководитель	Плещинская М.А.					Цели и задачи научно-исследовательской работы			
Зав. кафедрой	Плещинская М.А.					Кафедра СкиЧС			

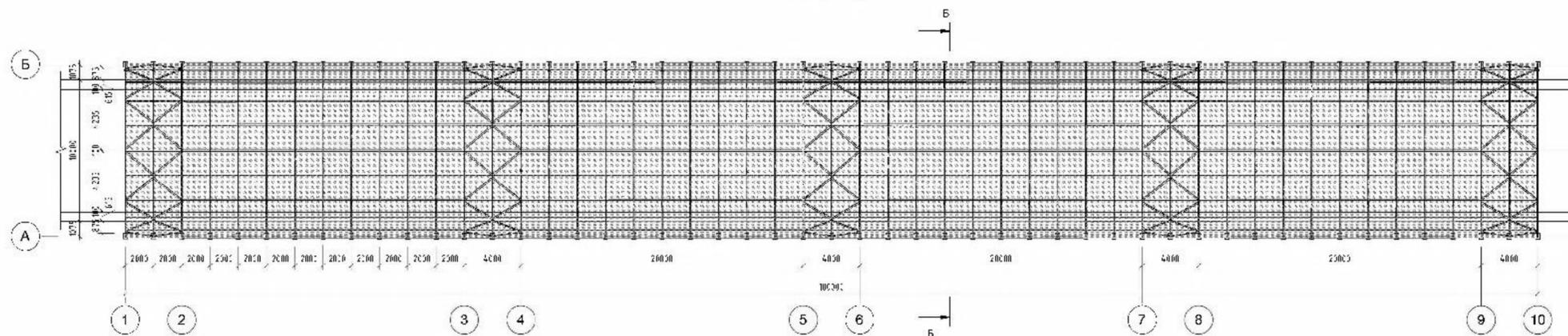
3Д Вид Архитектурный №1



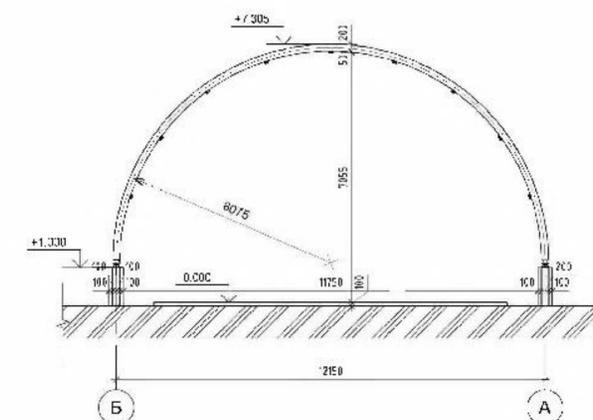
3Д Вид Архитектурный №2



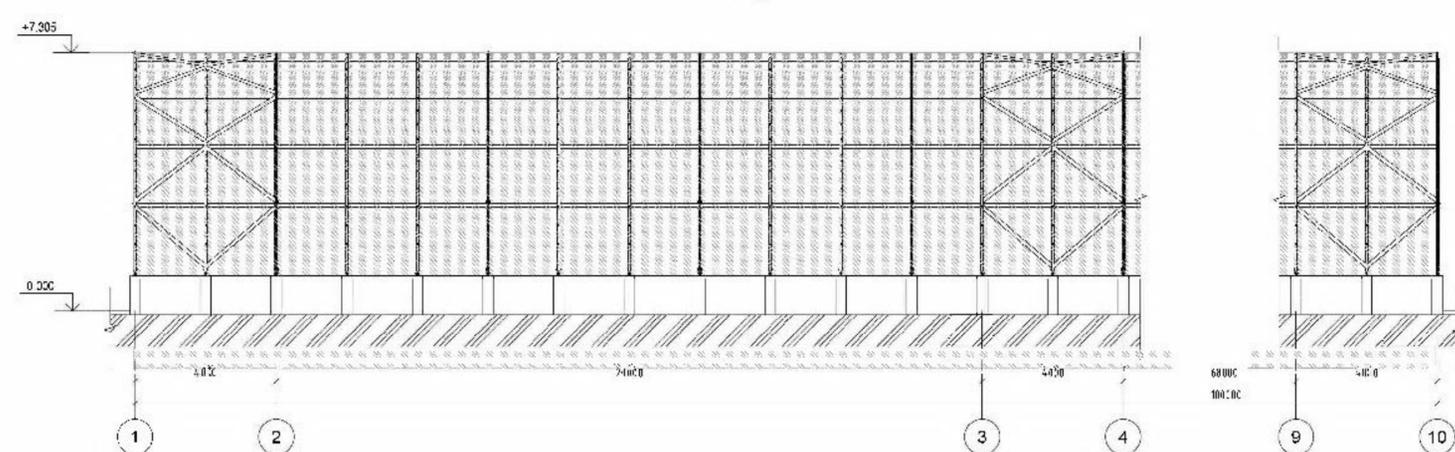
Вид сверху



Разрез Б-А

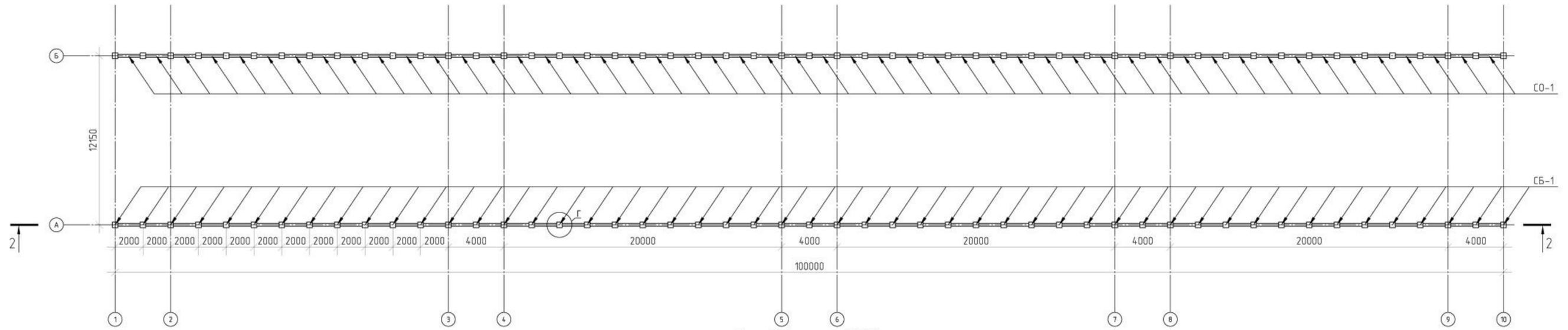


Фасад 1-10

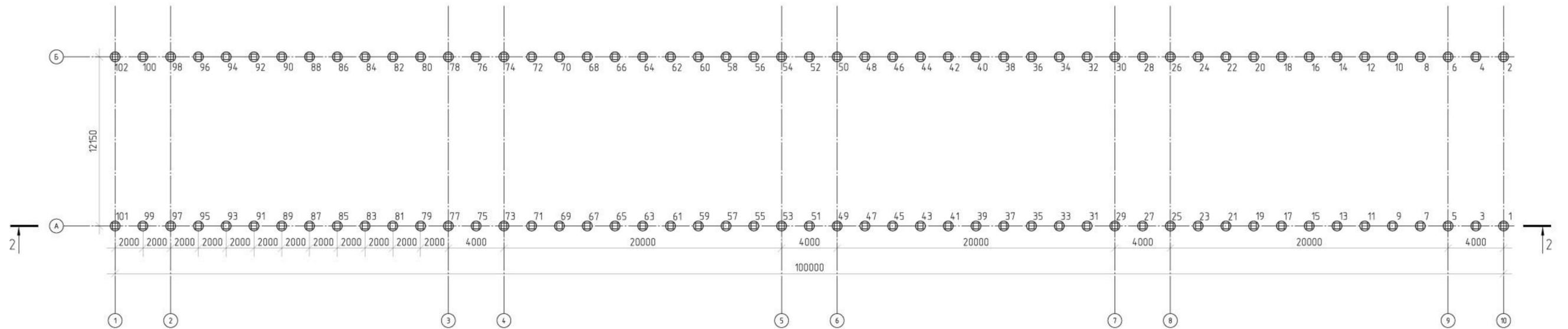


ДР С8.05.01.01 2023 ЛР						
ФГАОУ "Сибирский федеральный университет"						
Инженерно-строительный институт						
Изм.	Дата	Лист	№ док.	Исполн.	Провер.	Листов
Разработчик	Колесникова Т.Т.					
Разработчик	Тимофеев А.С.					
Клиент	Фирма "Сибирский"					
Проектировщик	Тимофеев А.С.					
Исполнитель	Тимофеев А.С.					
Зад. клиент	Дерябин С.З.					
Исследование 1Д: арочное покрытие из стеклопластика - 2-й тип конструкции Г. - напыляемый тип					Стр. слева	Листов
3. 2 Фасад 1-10. Разрез Б-А 3Д Вид Архитектурный №1 и №2					1	1
					Код файла: ГК ИС	

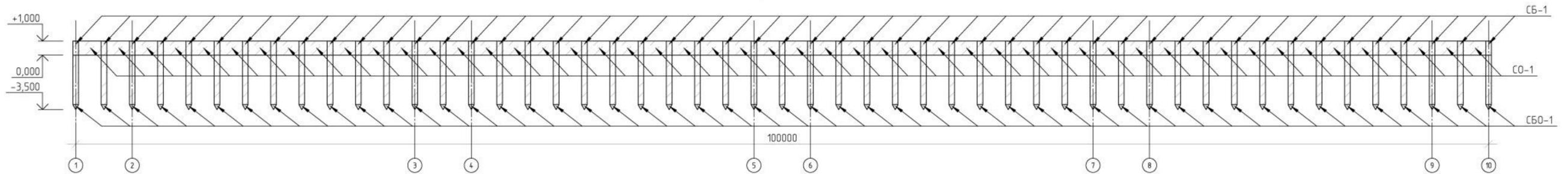
План фундаментов М1:150



План свайного поля М1:150



Разрез 2-2 М1:150



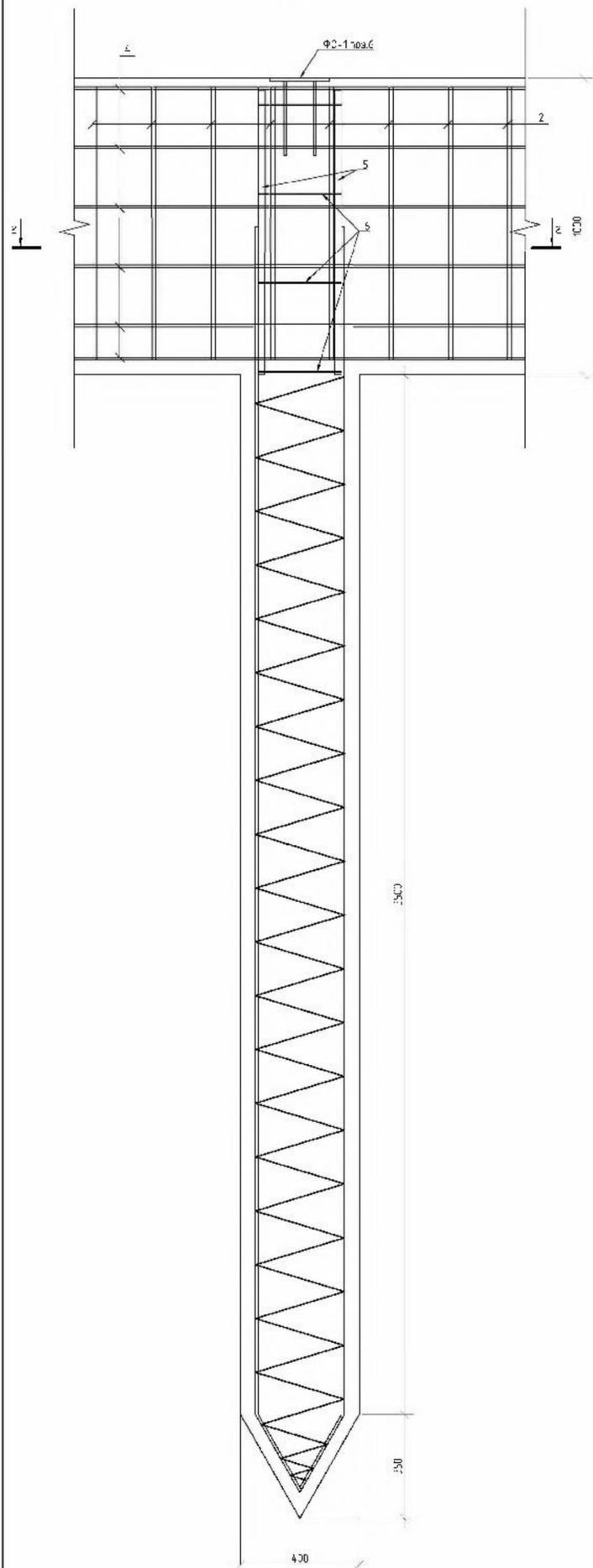
Спецификация ж/б основания

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, ед., кг	Примечание
СО-1		Ограждающая стена	100	800	
СБ-1		Бетонный столб	102	400	
СБ0-1		Свая виброопускная	СМ 4-40 с.10111-8н	1650	

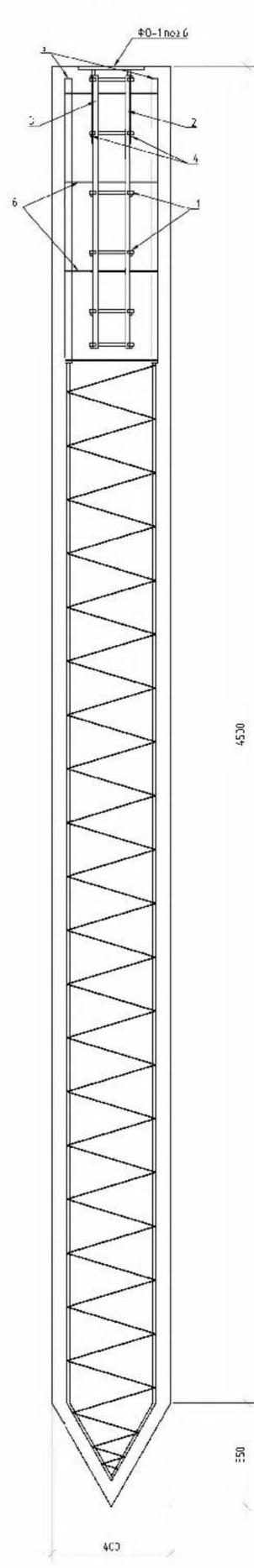
1. Смотреть совместно с л. 4,5, ДР-08.05.01.01-2023-ПЗ, раздел 4.

						ДР-08.05.01.01-2023 КР			
						ФГАОУ "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа	Стация	Лист	Листов
							У	3	15
Разработал							План фундаментов М1:150. План свайного поля М1:150. Разрез 2-2	Кафедра СКУЧС	
Консульт.									
Руковод.									
Н.Контроль									
Зав. каф.									

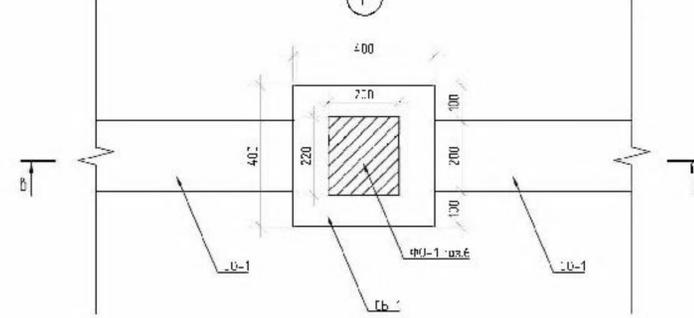
В-В М1:10



В-В М1:10



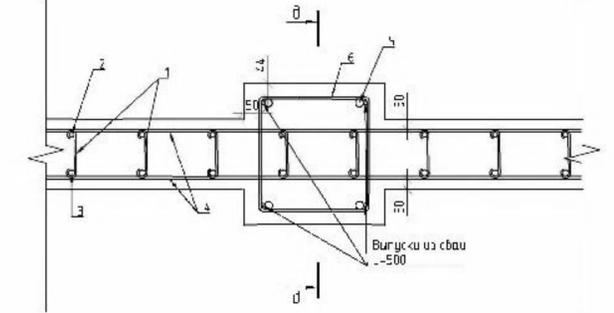
Г



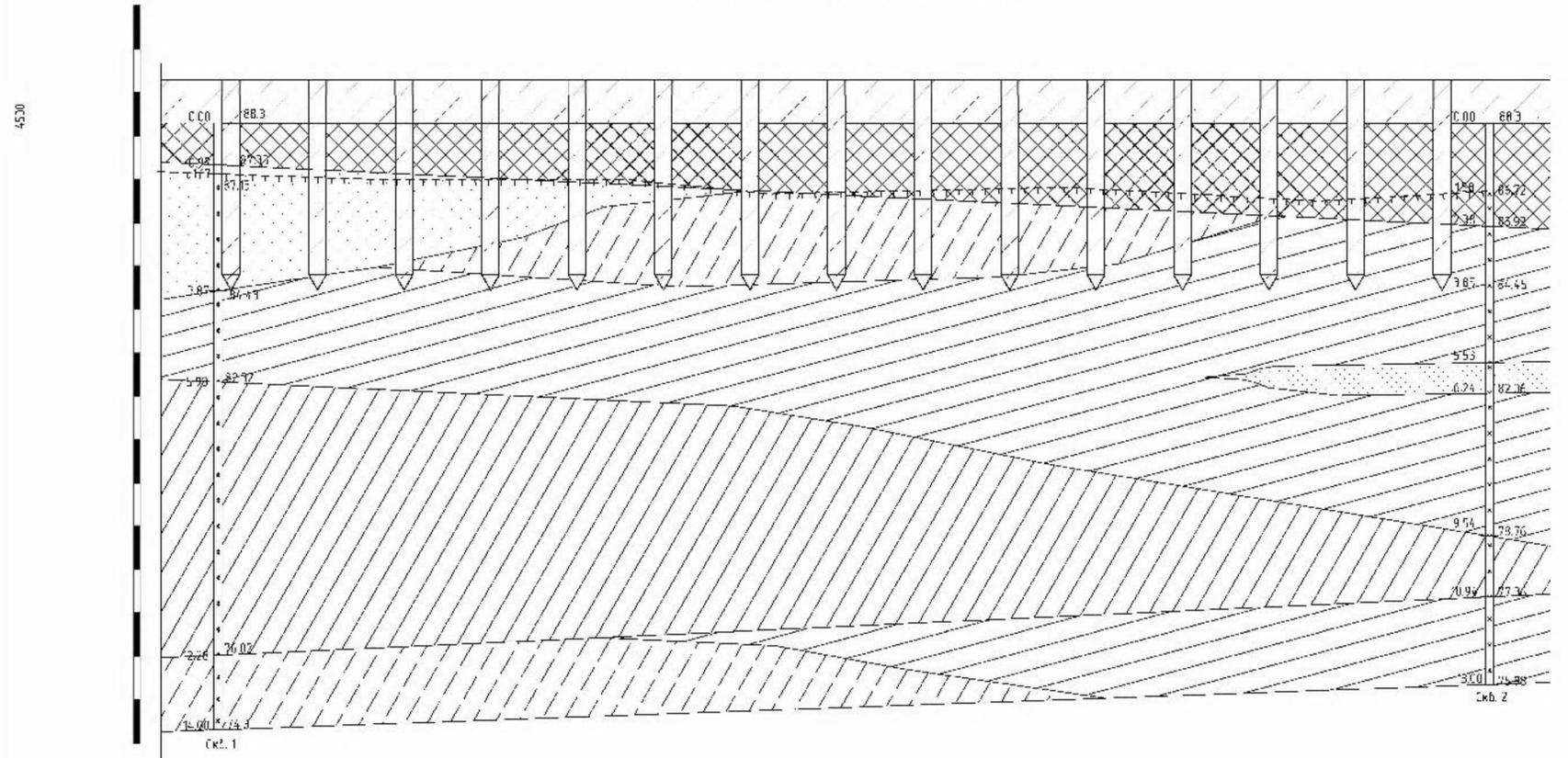
Спецификация элементов в монолитных железобетонных конструкциях объекта

№	Наименование	Измерительная единица	Кол.	Масса, кг	Примечание
1	Поперечная арматура	Φ10A40C L=170	500	0,135	
2	Вертикальная арматура стенок (шаг 600 мм)	Φ10A40C L=920	500	1,17	
3	Вертикальная арматура стенок (с торца по стене)	Φ10A40C L=920	500	1,078	
4	Горизонтальная арматура стенок	Φ8A40C L=1000	6	39,5	
5	Горизонтальная арматура стенок	Φ22A40C L=950	408	2,865	
6	Хомуты по ф.	Φ6A40C L=150	408	11,3	

З-З М1:10



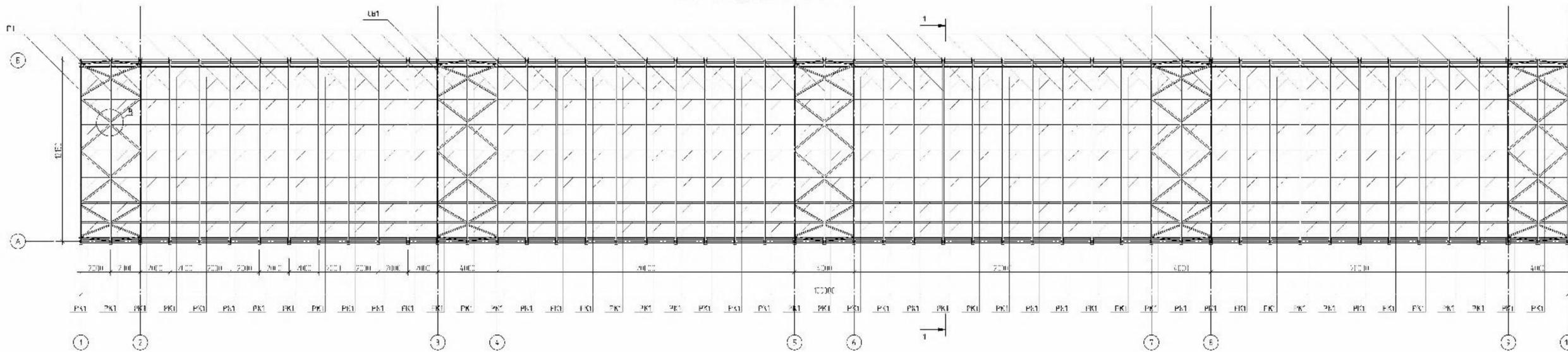
Инженерно-геологический разрез М1:75



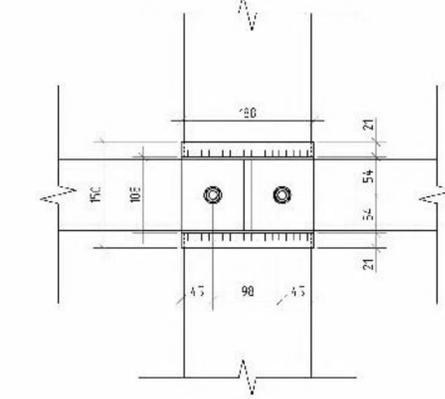
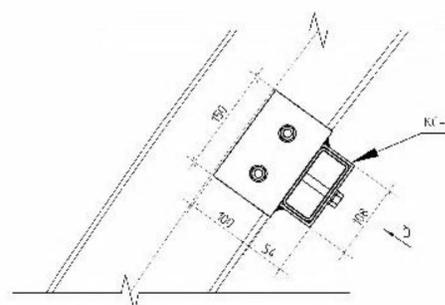
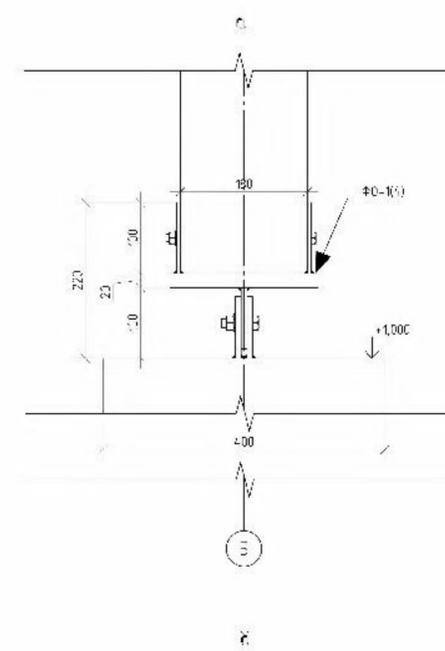
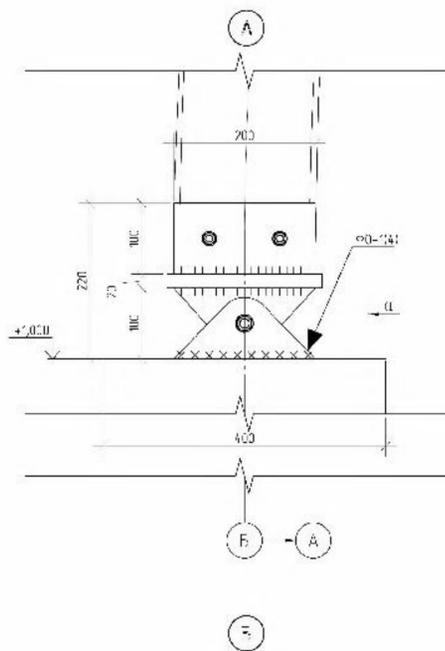
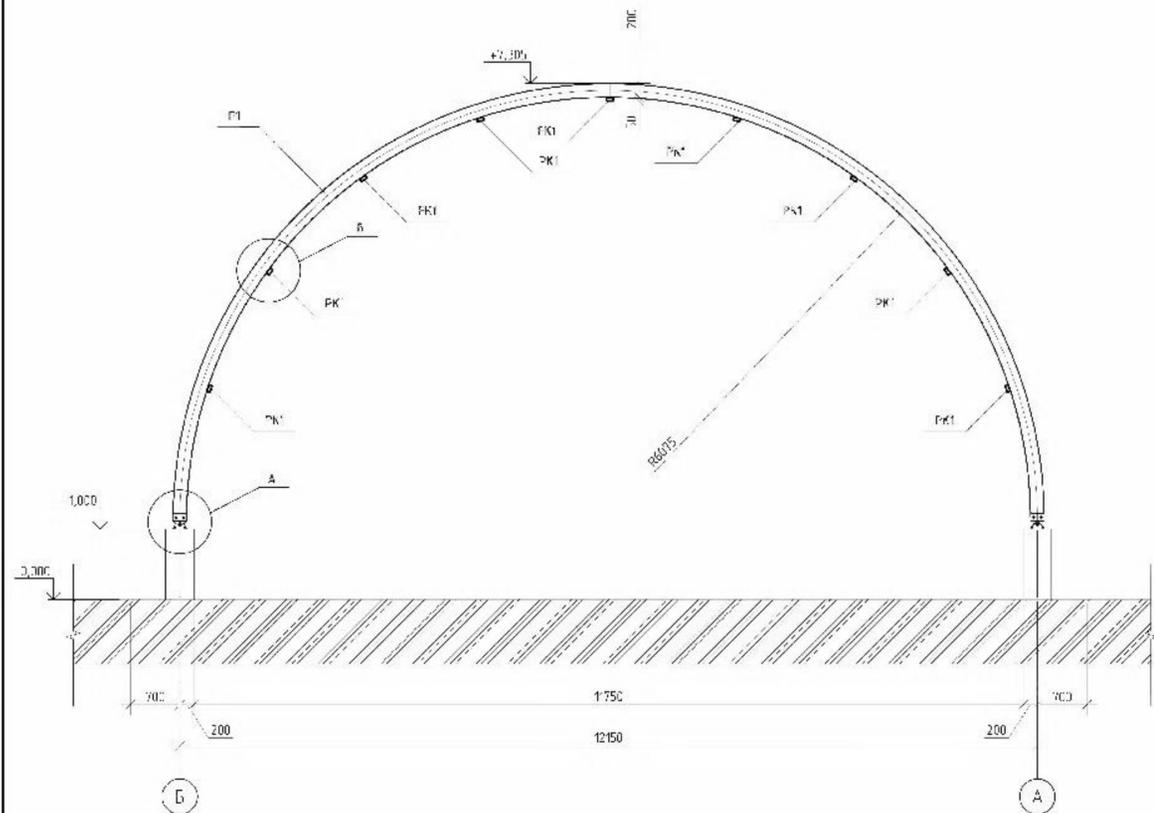
1 Соответствует с л. 4, Д-08.05.01-2023-11, разрез 4.

Д-08.05.01-2023-11						ФГАОУ "Сибирский федеральный университет"		
Инженерно-строительный институт						Инженерно-геологический институт		
Уч.	Кол.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	И.с. Ф.И.О.	Долж.	Лит. №
Разработчик	1	1	1			А. С. Сидоров	Инженер	1
Разработчик	1	1	1			А. С. Сидоров	Инженер	1
Контроль	1	1	1			А. С. Сидоров	Инженер	1
Инженер	1	1	1			А. С. Сидоров	Инженер	1
Инженер	1	1	1			А. С. Сидоров	Инженер	1
Инженер	1	1	1			А. С. Сидоров	Инженер	1
Инженерно-геологический разрез М1:75						Кафедра СКИУС		

План конструктив туннеля №150



1-1 №150



Спецификация конструктив туннеля

Марка	Обозначение	Наименование	кол	длина, м, шт.	длина, м, шт.	Примечание
Р1	ГОСТ 33344-2015	Панель бетонная 220х190-В L=12285	51	186,182	9495,792	
ПК1	ГОСТ 33344-2015	Профиль кольцевой ПК1 190х50х3 L=2500	456	5,40	2466,0	
СБ1	ГОСТ 33344-2015	Профиль кольцевой ПК1 190х50х3 L=2540	166	7,73	773,0	
КС-1	дп-08 05 01-2923 КР	Крепление стальной арматуры, сталь С235	102	15,269	1536,732	
КС-1	дп-08 05 01-2923 КР	Крепление стальной арматуры, сталь С235	459	2,791	1280,351	
КС-2	ГОСТ 19731	1 180х100х7 L=200	200	1,438	287,6	

1. Сметы составлены в 4. 2. Материалы для строительства СБ1

ДП-08.05.01-2923 КР					
Ф. АОИ "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
№ п/п	№ кол	Вид	Материал	Примечание	длина
1	51	Панель	бетонная	220х190-В	186,182
2	456	Профиль	кольцевой	ПК1 190х50х3	5,40
3	166	Профиль	кольцевой	ПК1 190х50х3	7,73
4	102	Крепление	стальной арматуры	сталь С235	15,269
5	459	Крепление	стальной арматуры	сталь С235	2,791
6	200	Арматура	стальная	1 180х100х7	1,438

Фото №1



Фото №2

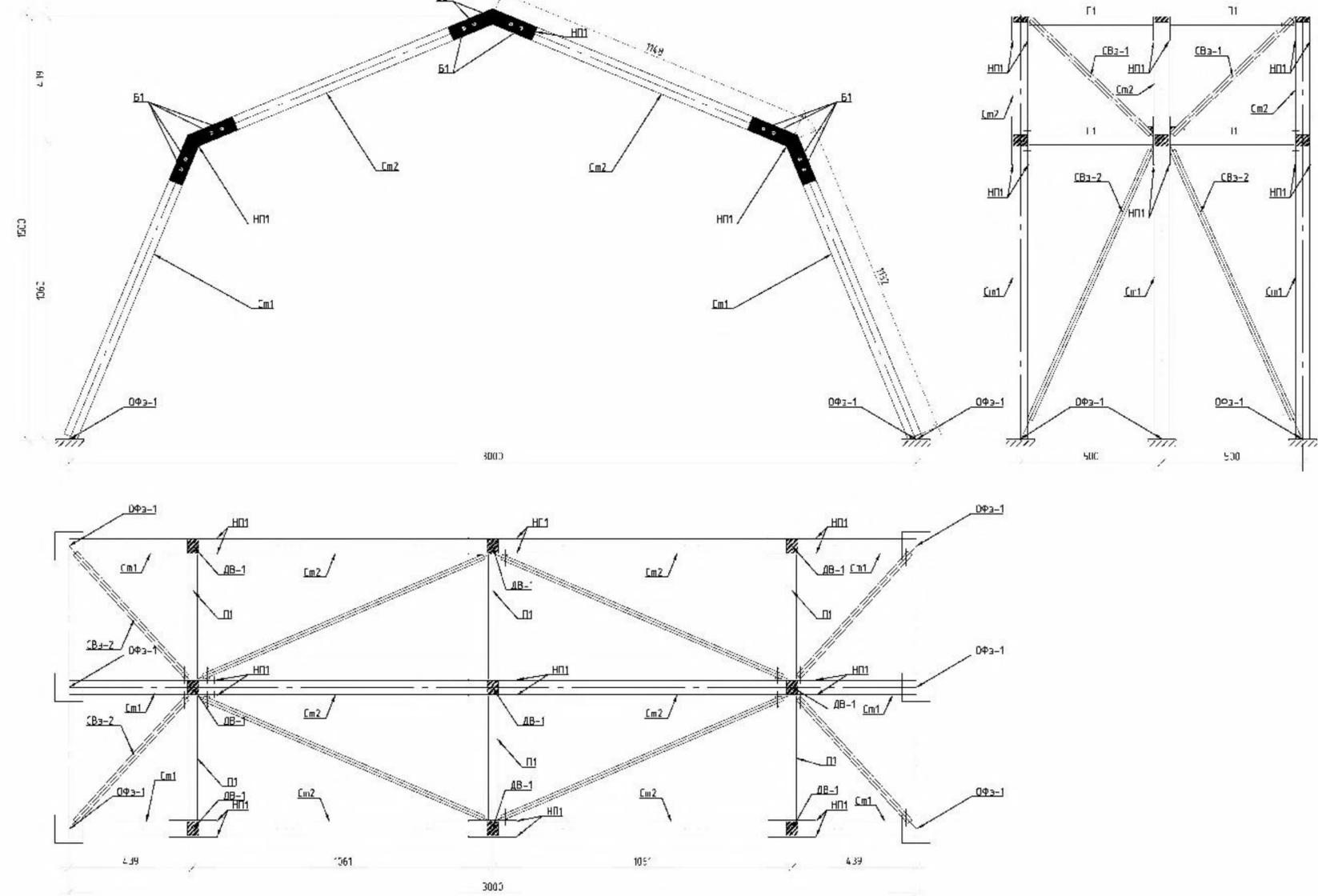


Фото №3

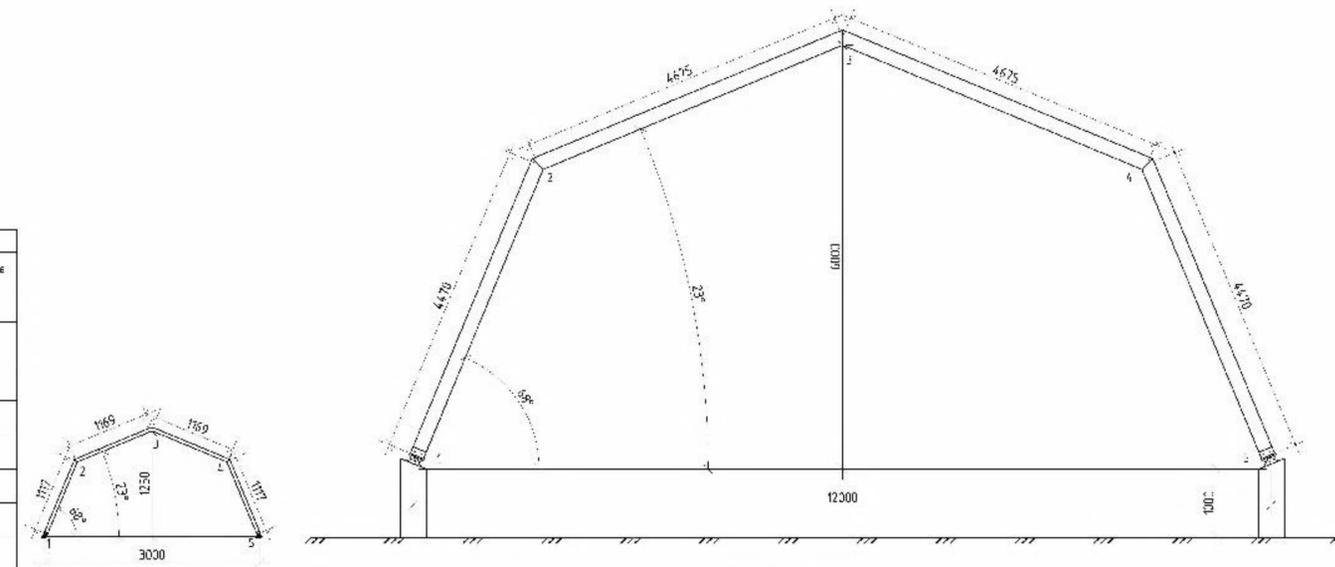


Спецификация экспериментальной модели						
Марка	Обозначение	Наименование	Кол.	Материал, кол. к.	Общая масса, кг	Примечание
ДБ-1	Деревянный вкладыш	Слоеный вкладыш из фанеры Г-образной формы, 46x45 - 333	5	0,35	3,15	
Л1	Пресс-деревяшки	Пресс-деревяшки из дерева шириной 40x20, 440	5	0,20	1,74	
НП1	Накладка на полку кабеля	Накладка из ПВД, пластик Г-образной формы, 50x50, L=320	15	0,154	2,312	
Б1	Болт М8	Болт М8, L=120	28	0,01	0,283	
Б2	Болт М8	Болт М8, L=180	12	0,12	0,144	
Г1	Гайка М8	Гайка М8	43	0,035	0,24	
Г2	Гайка М10	Гайка М10	12	0,01	0,12	
Ш1	Шпилька М10	Шпилька М10, L=150	12	0,156	1,872	
См1	Сетка	Сетка стеклотканевая с безрамочным вкладышем в основании, 50x50, L=1152	5	1,19	5,714	
См2	Сетка	Сетка стеклотканевая, 50x50, L=1152	5	0,944	5,664	
СВ1	Связь бергиская	Связь бергиская из стеклотканевых с деревянным вкладышем на концах, 45x20, L=1230	4	0,695	2,784	
СВ2	Связь бергиская	Связь бергиская из дерева, 45x20, L=1230	4	0,553	2,222	
ДФ1	Связь фиксирующая	Связь фиксирующая из фанеры с опорами в "ручье"	5	3,65	21,9	

Экспериментальная модель М1:10



Сравнение размеров экспериментальной и реальной арок М1:50



1:1. Итого количество: с. ДП-08.05.01-2023-ПЗ, разд. 5.

ДП-08.05.01-2023 К-2					
ФГАОУ "Сибирский федеральный университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.	Дат.	Испол.	Подпись	Дата
Разработчик	Соболь И.А.				
Рецензент	Тарасов А.Г.				
Конструктор	Тарасов И.А.				
Выполнил	Тарасов И.А.				
Начальник	И.И. И.А.				
Эксп. инст.	И.И. И.А.				
Эксп. инст.	И.И. И.А.				

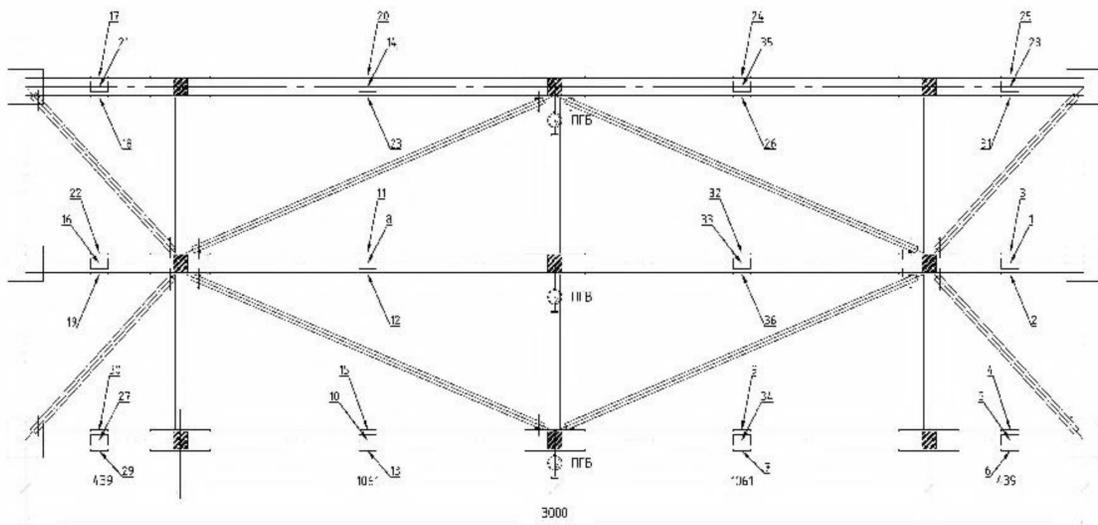
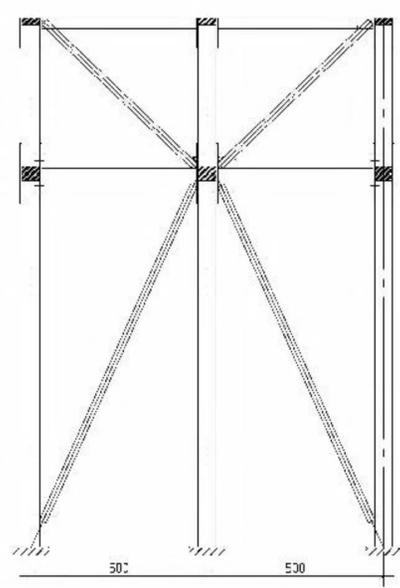
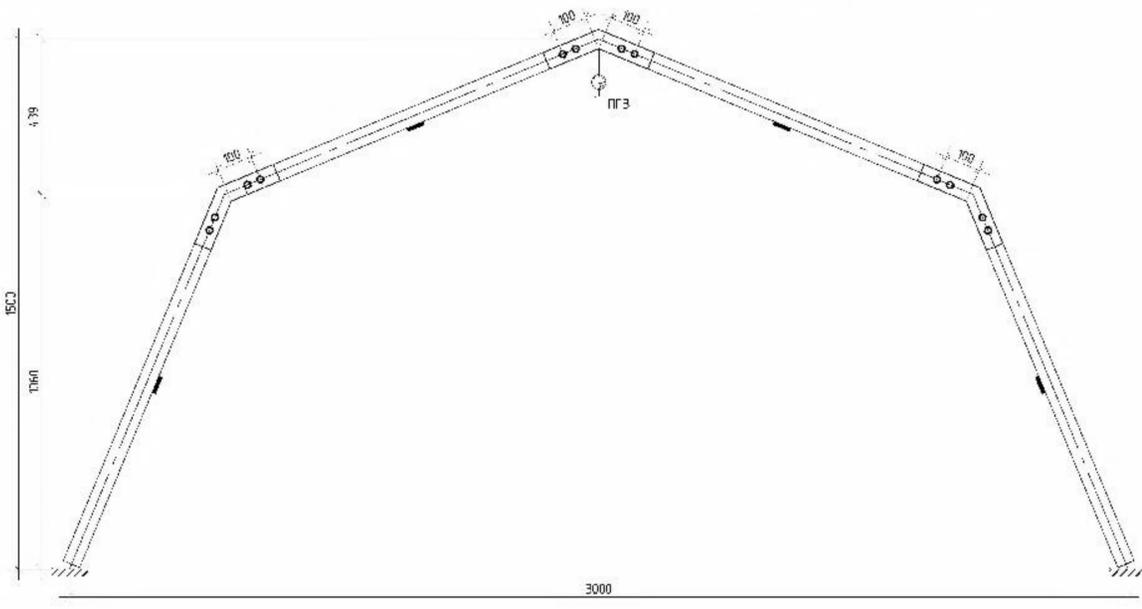
Исследование НДС арочной конструкции из стеклопластика на примере конструкции лунинского ш.ш.

Экспериментальная модель, сравнение размеров экспериментальной и реальной арок, фото 1-3

Изм.	7	Лист 22
У	7	13

Кафедра СКУС

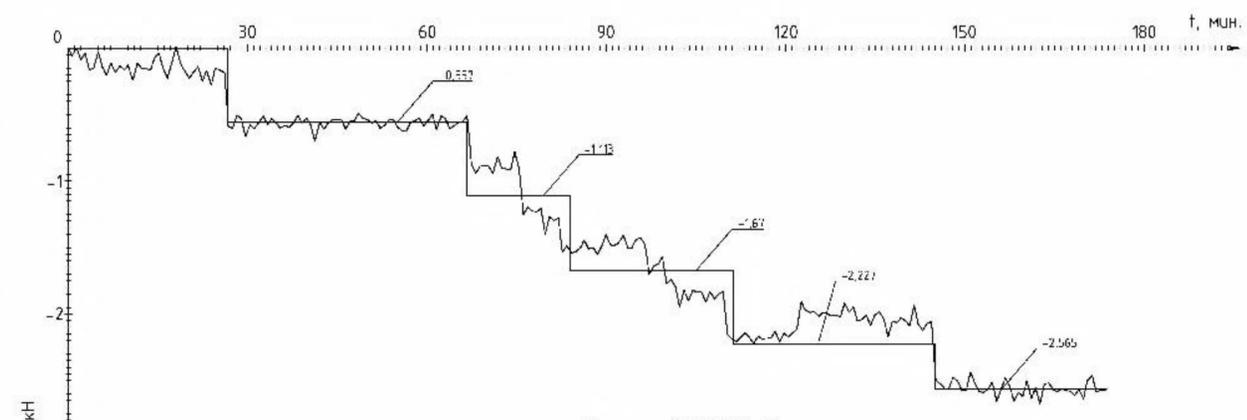
Расположение тензодатчиков и прогибомеров М11:10



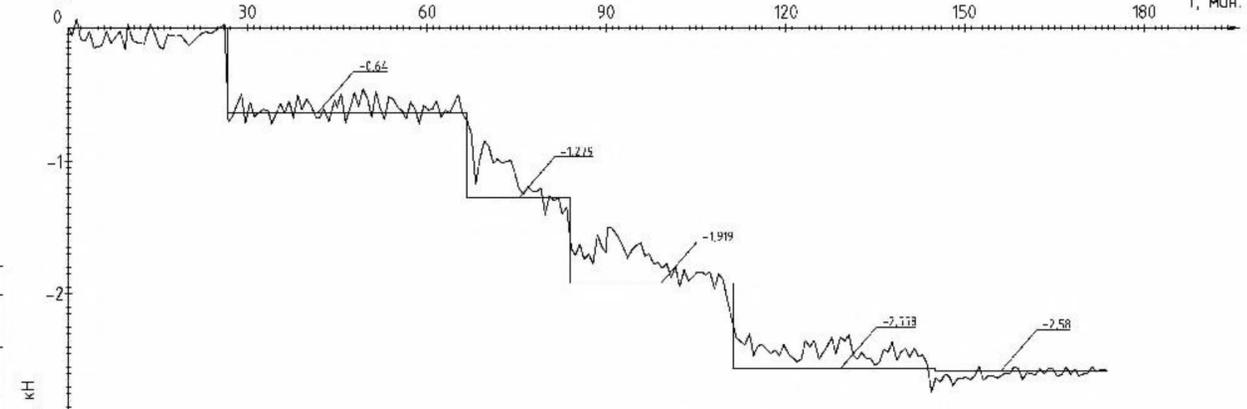
Прогибы узловых соединений по стадиям

№ этапа нагружения	Прогиб узловых соединений, мм		
	1	2	3
1 (75 мин.)	4,2	1,65	5,76
2	10,28	17,3	22,7
3 (120 мин.)	11,46	24,43	26,53
4	27,93	33,25	36,5
5 (120 мин.)	30,95	34,25	37,18
6 (120 мин.)	50,94	50,5	61,36
5 (10,75 д.)	65,05	65,77	70,5
5 (11,25 д.)	65,33	65,88	70,53
5 (10,75 д.; 1,25 д.; 20 мин.)	65,35	65,88	70,54

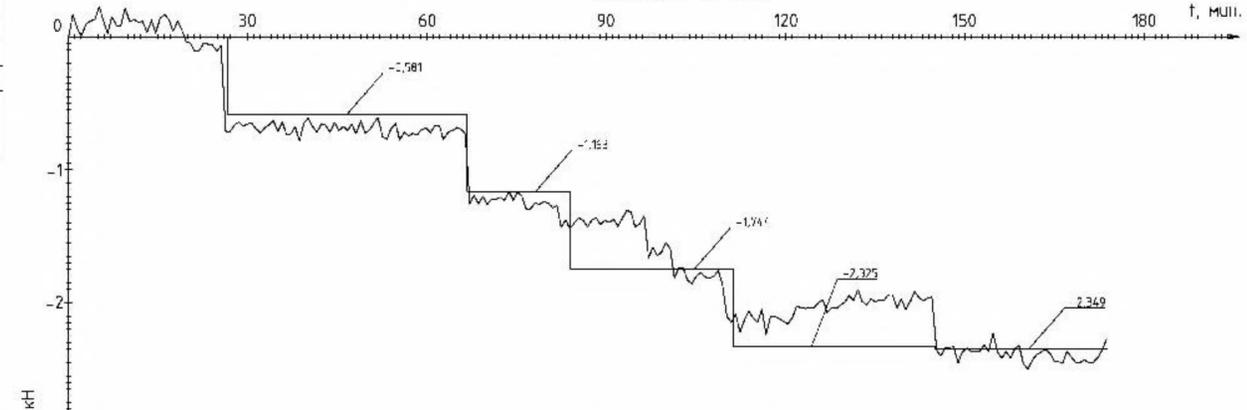
Графики продольных усилий N Датчики № 1, 2, 3



Датчики № 32, 33, 36



Датчики № 8, 11, 12



Датчики № 16, 19, 22

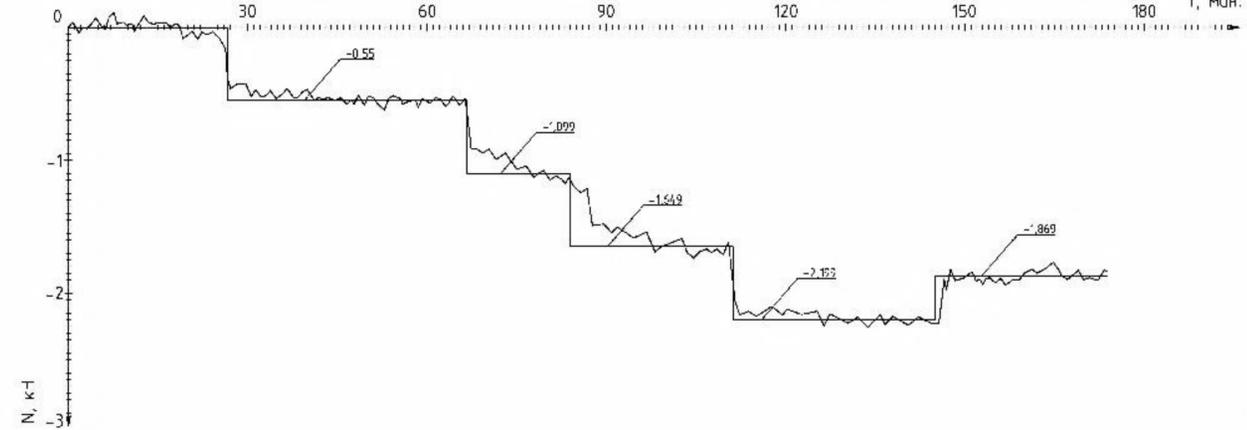


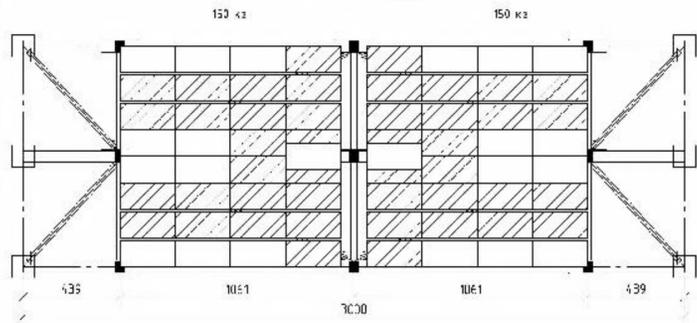
Фото тензодатчиков



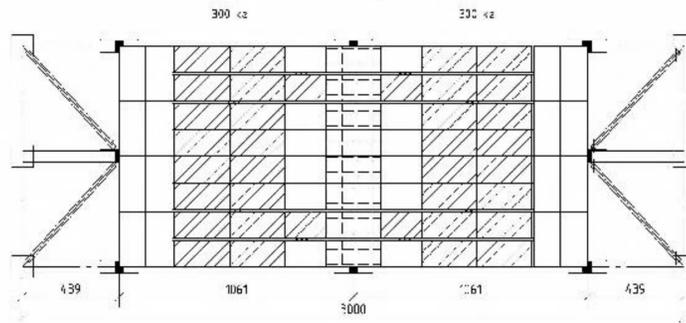
Примечание:
1. Системы безопасности: а. 5, 10, 11, ДР-08.05.0101-2023-ПЗ, раздел 6;
2. На графиках кривые линии - значения усилий N датчиков, прямые - из ГК Лира

		ДР-08.05.01-2023 К2				
		ФГАОУ "Сибирский федеральный университет"				
		Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.	Лист	№ экз.	Подпись	Дата	
Разработчик:	Колосов И.С.	Исполнитель:	Тихонов А.В.	Ассистент ИС	Аронзон А.С.	Изучено
Корректировщик:	Тихонов И.А.	Проверено:	Тихонов И.А.	Инженерно-строительный институт		У
Эксперт:	Тихонов И.А.	Проверено:	Тихонов И.А.	Инженерно-строительный институт		8
Исполнитель:	Тихонов И.А.	Проверено:	Тихонов И.А.	Инженерно-строительный институт		13
Эксперт:	Тихонов И.А.	Проверено:	Тихонов И.А.	Инженерно-строительный институт		
				Кафедра СКУС		

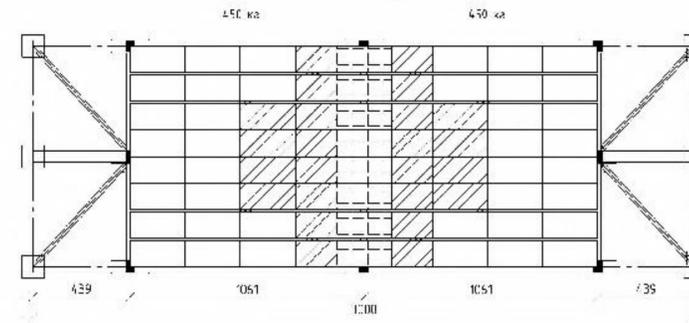
Стадия загрузки 1



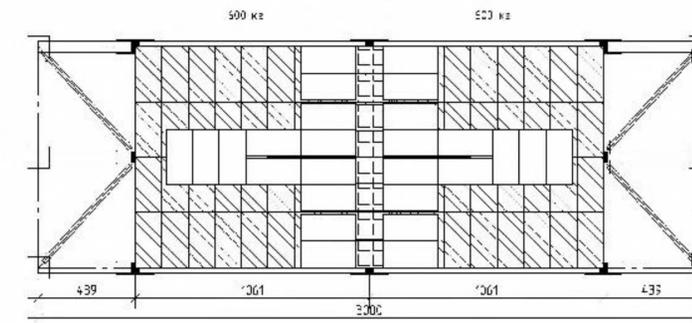
Стадия загрузки 2



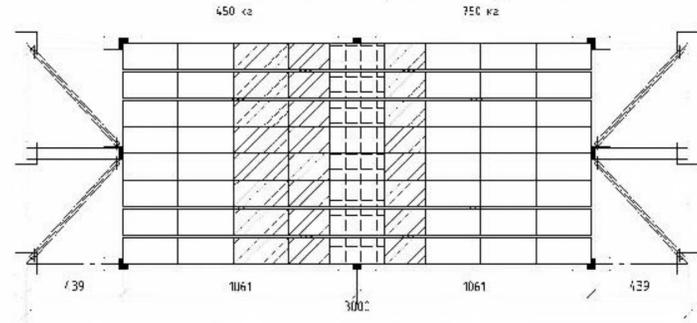
Стадия загрузки 3



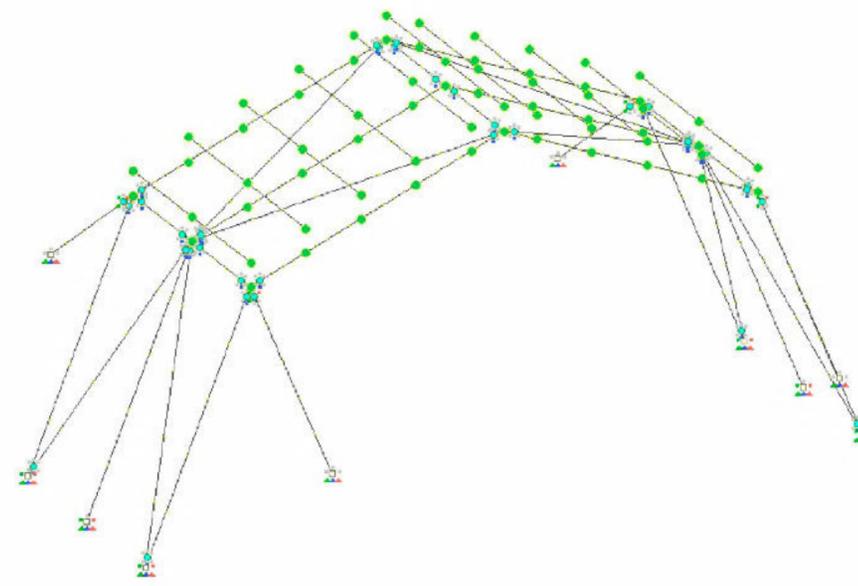
Стадия загрузки 4



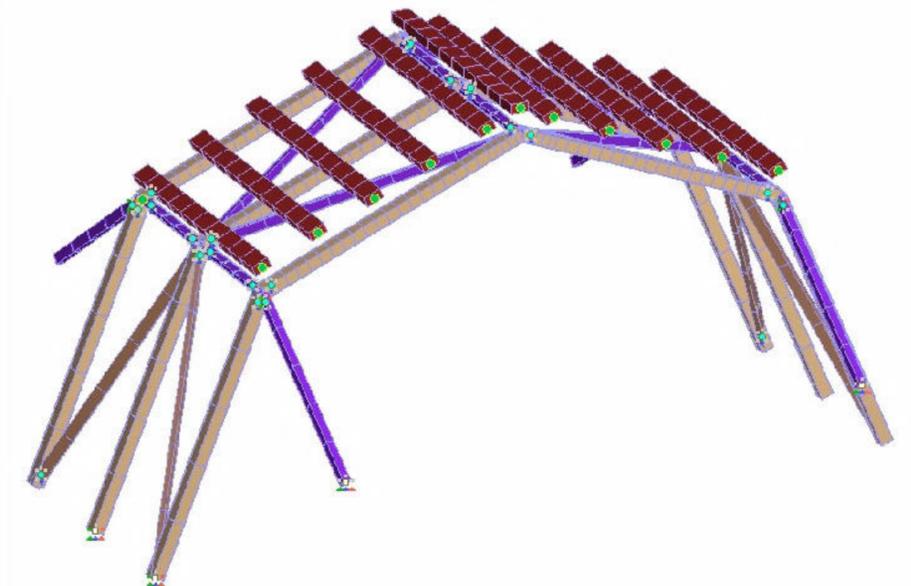
Стадия косимметричного загрузки



Расчетная схема



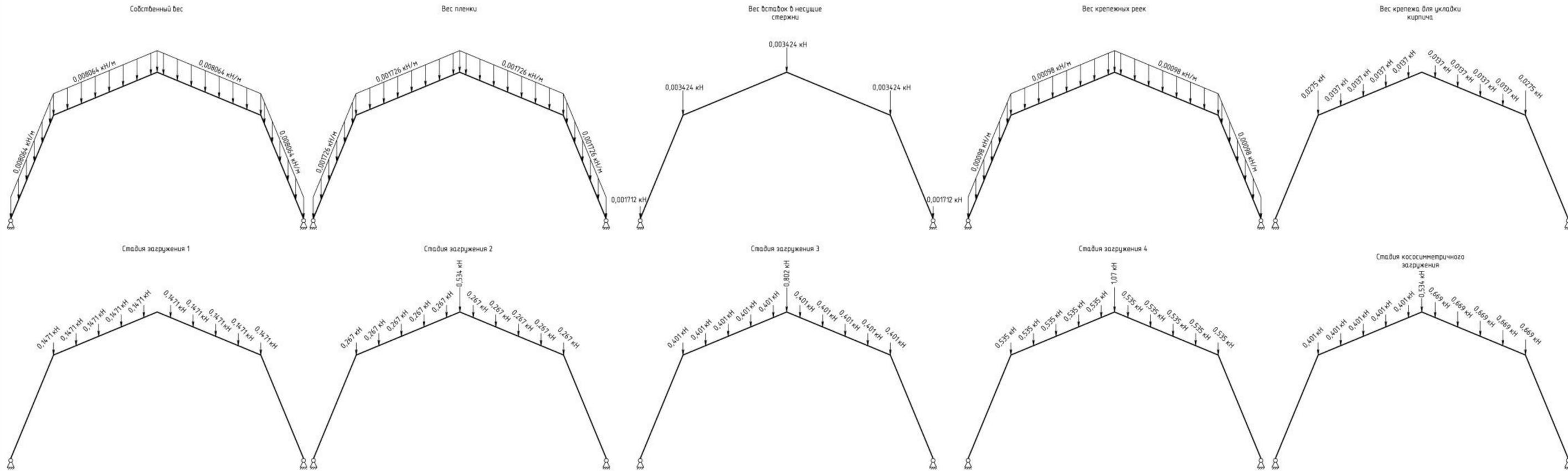
Расчетная схема в 3D



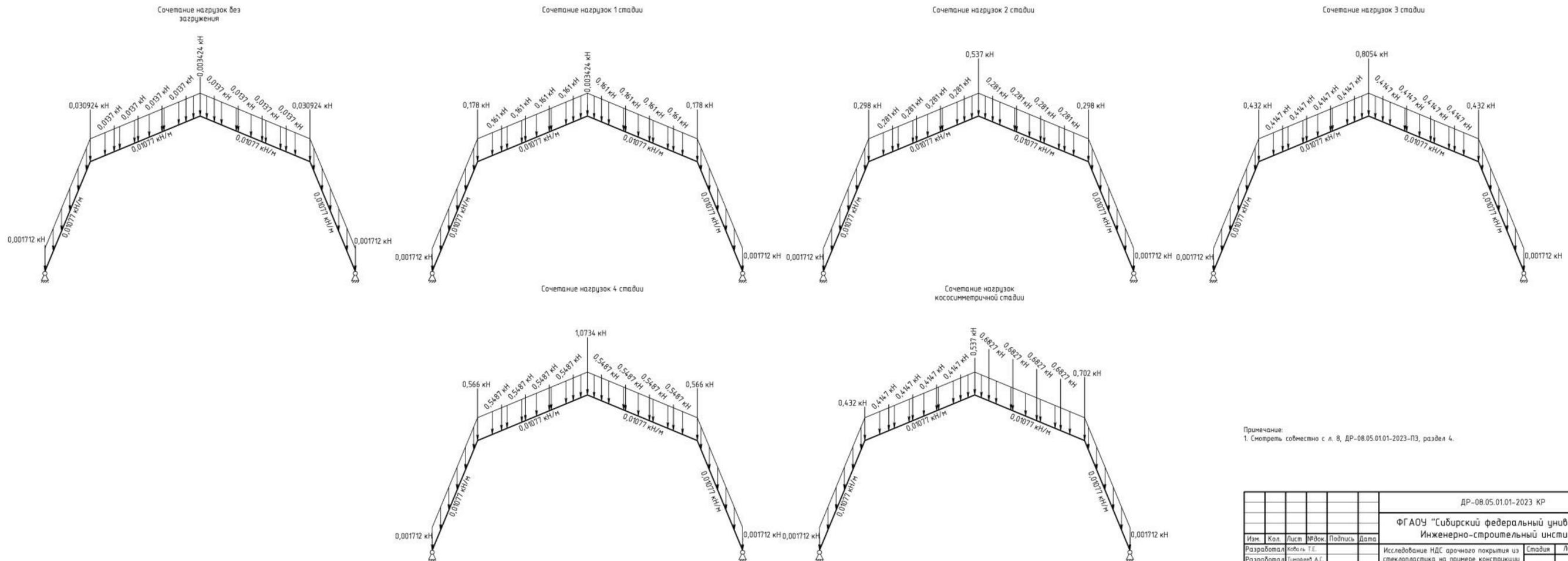
1 Смотреть вложение к а. в. ДР-08.05.01-2023-ПЗ, раздел 5.4.

					ДР-08.05.01-2023-К2		
					ФГАОУ "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт		
Изм.	Кол.	Лист	№ Эск.	Подпись	Дата	Экз.	Лист
Разработчик	Колесов И.С.					4	5
Проверенный	Колесов А.В.						13
Корректировщик	Колесов И.С.						
Выполнил	Колесов И.С.						
Начальник	Колесов И.С.						
Экз. код	Итого листов						
						Исследования ИС тропическое покрытие из эпоксипластика на основе конструктивных стальной ш.ш.	
						Экз. схема для стальной загрузки, расчетная схема, расчетная схема в 3D	
						Кафедра СКУС	

Расчетные схемы экспериментальной модели с нагрузками



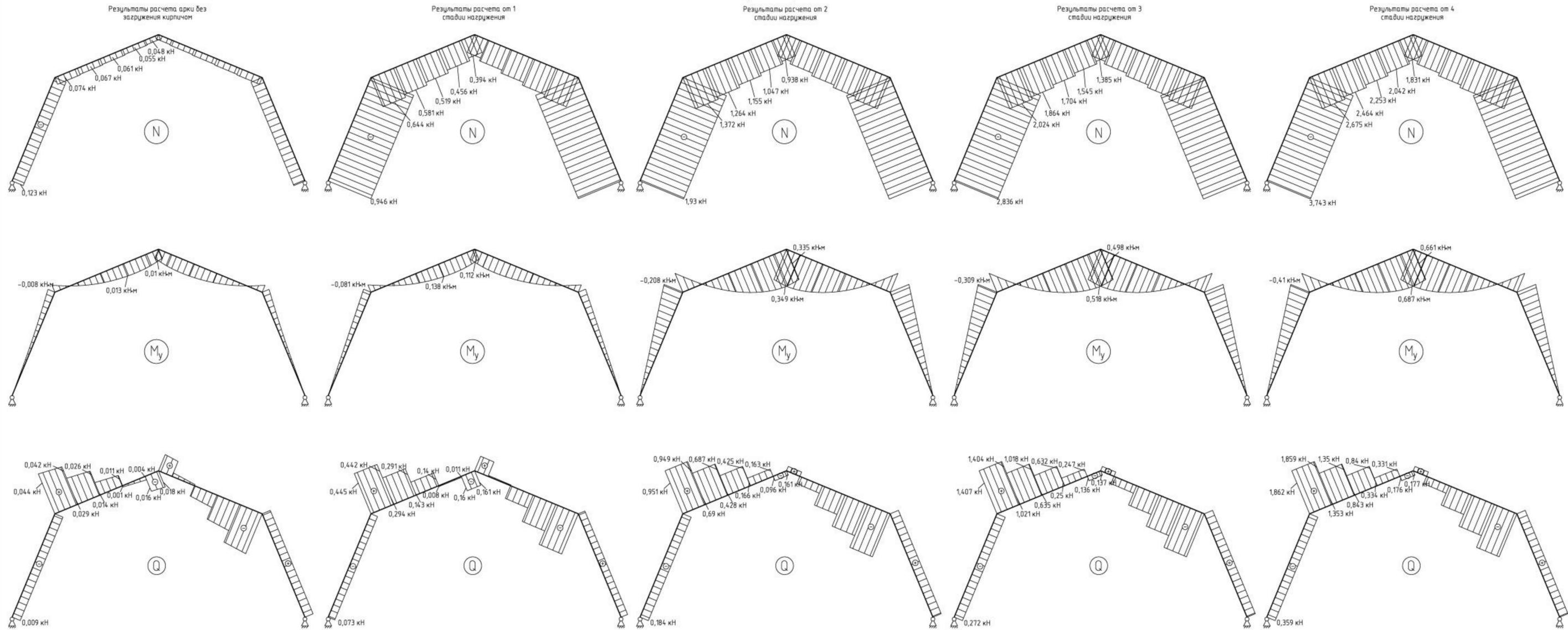
Расчетные схемы экспериментальной модели с сочетаниями нагрузок



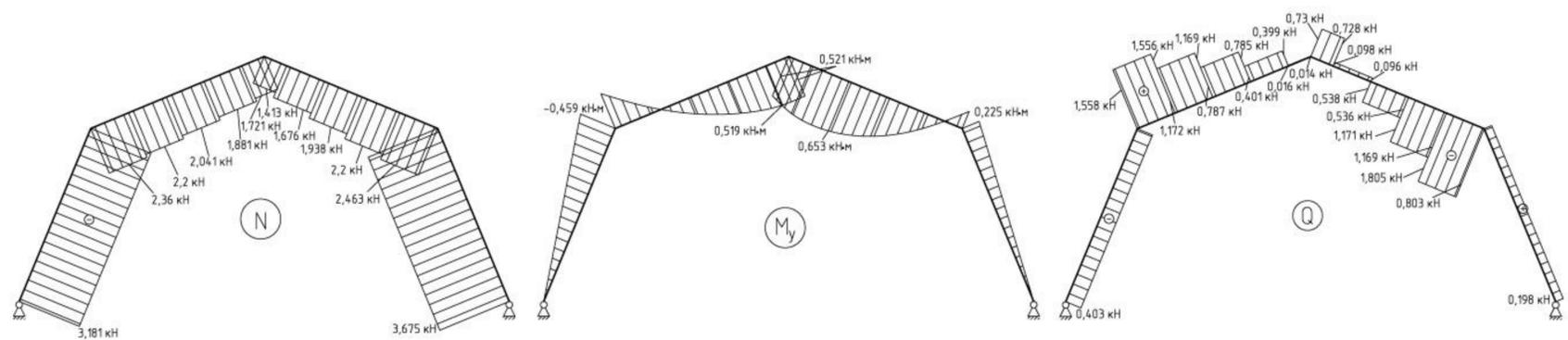
Примечание:
1. Смотреть совместно с л. 8, ДР-08.05.01.01-2023-ПЗ, раздел 4.

					ДР-08.05.01.01-2023 КР				
					ФГАОУ "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа	Стадия	Лист	Листов
							У	10	15
						Расчетные схемы экспериментальной модели с нагрузками. Расчетные схемы экспериментальной модели с сочетаниями нагрузок	Кафедра СКУС		

Результаты расчетов



Результаты расчета от косимметричной стадии нагружения



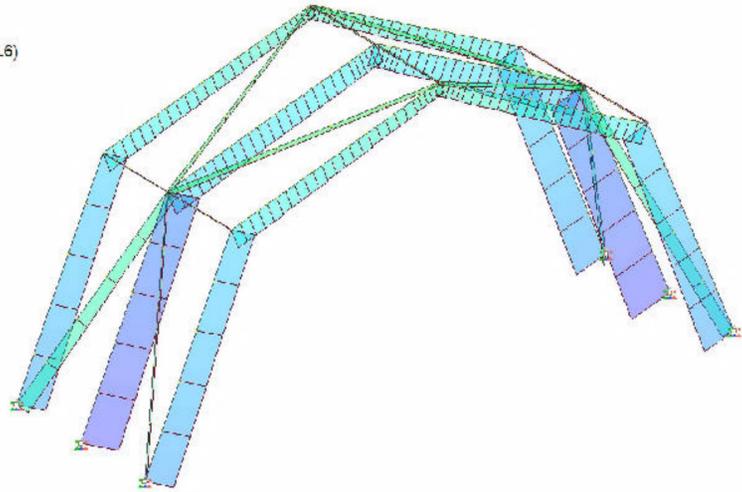
Примечание:
1. Смотреть совместно с л. 8, ДР-08.05.01.01-2023-ПЗ, раздел 4.

					ДР-08.05.01.01-2023 КР				
					ФГАОУ "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа	Страница	Лист	Листов
Разработал		Кобыль Т.Е.					4	11	15
Разработал		Гиндеев А.С.							
Консульт.		Плескунья Н.А.							
Руковод.		Плескунья Н.А.							
Н.Контроль		Плескунья Н.А.				Результаты расчетов		Кафедра СКУС	
Зав. каф.		Дардышев С.В.							

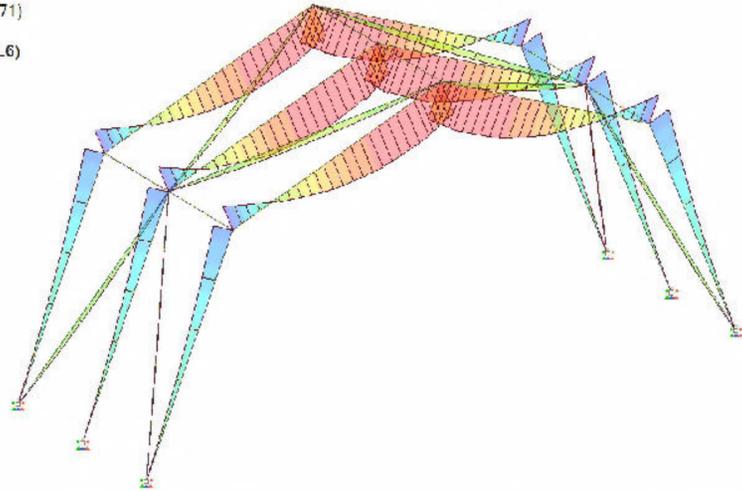
Результаты расчета конструкции без загрузки кирпичом



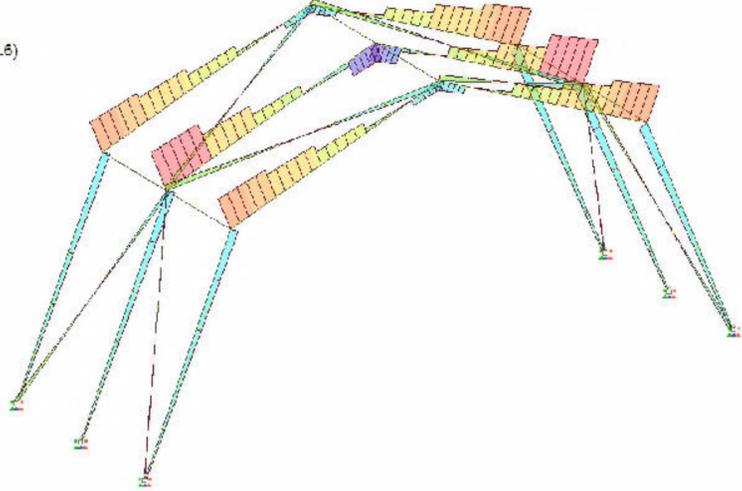
1. Сочетание "Без кирпича"
 min=-0.07545 (16); max=0.002576 (51)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)



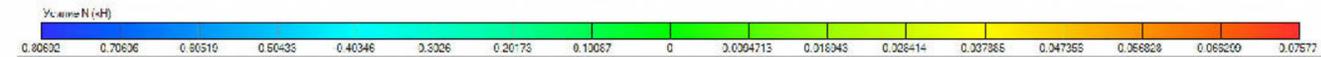
1. Сочетание "Без кирпича"
 min=-0.004396 (356); max=0.006874 (371)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)



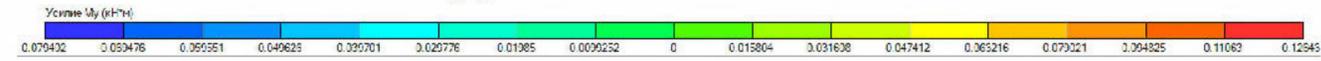
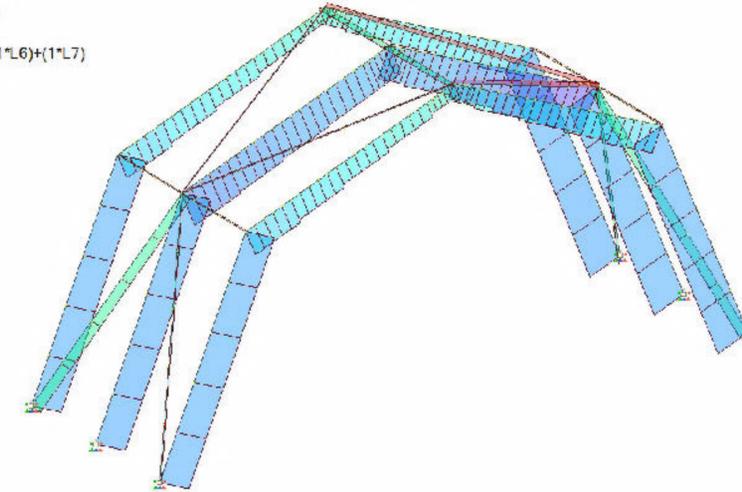
1. Сочетание "Без кирпича"
 min=-0.011 (380); max=0.02586 (356)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)



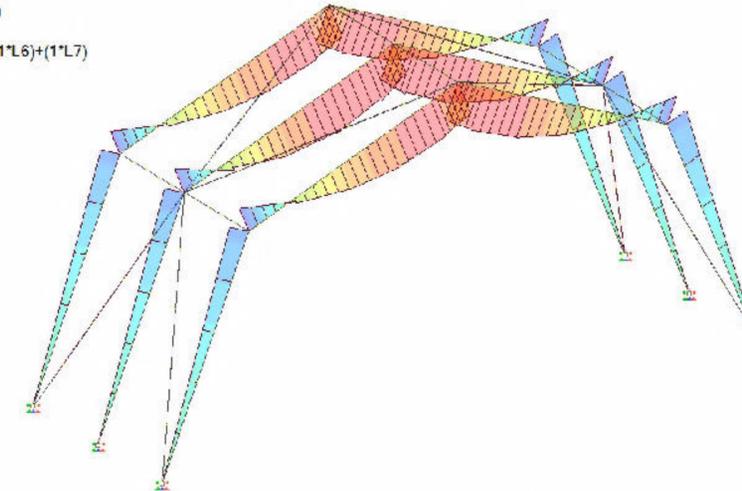
Результаты расчета конструкции от 1 стадии нагружения



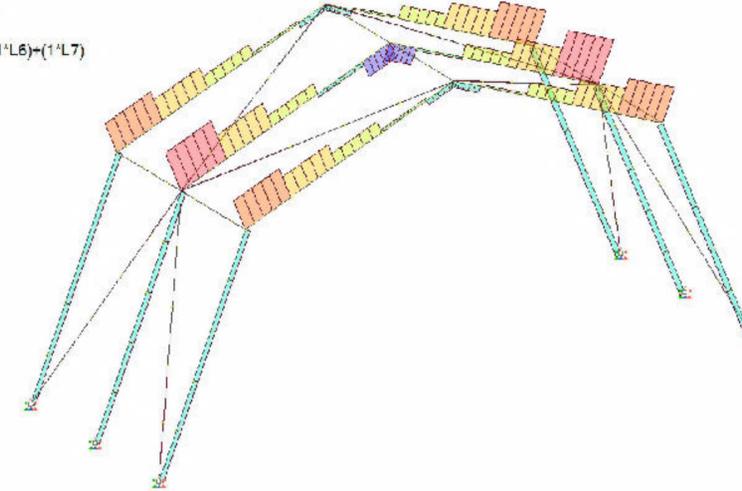
2. Сочетание "1 стадия"
 min=-0.80639 (331); max=0.07577 (86)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)



2. Сочетание "1 стадия"
 min=-0.0794 (356); max=0.1264 (371)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)



2. Сочетание "1 стадия"
 min=-0.1807 (380); max=0.4566 (356)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)



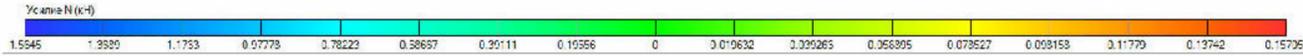
N

My

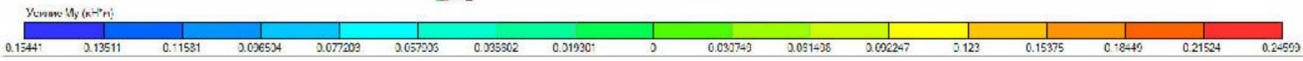
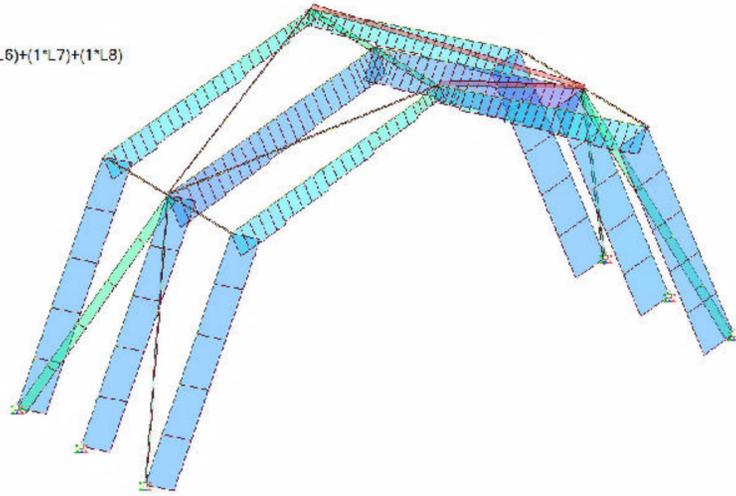
Qz

				ИР-08.05.01-2023 К-2							
				ФГАОУ "Сибирский федеральный университет"							
				Инженерно-строительный институт							
Изм.	Кол.	Лист	Всего	Подпись	Дата	Ассистент ИС зрочное отделение из			Гр.Лист	Л.ст	Листов
Рисован	1	1	1			электроника на основе конструкции			9	12	13
Корректир						лучинского ш.и.					
Рисован						Результаты расчетов в ПК Лира-СОФТ					
Инженер						(начало)			Кафедра СКУС		
Эль. к-т											

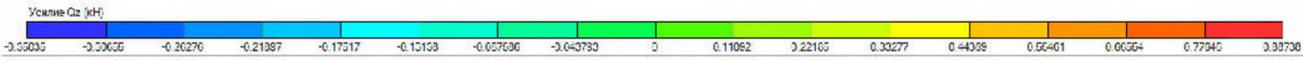
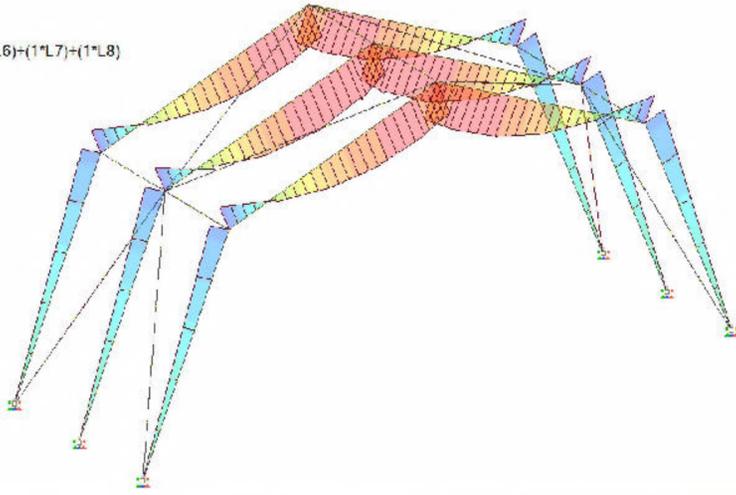
Результаты расчета конструкции от 2 стадии нагружения



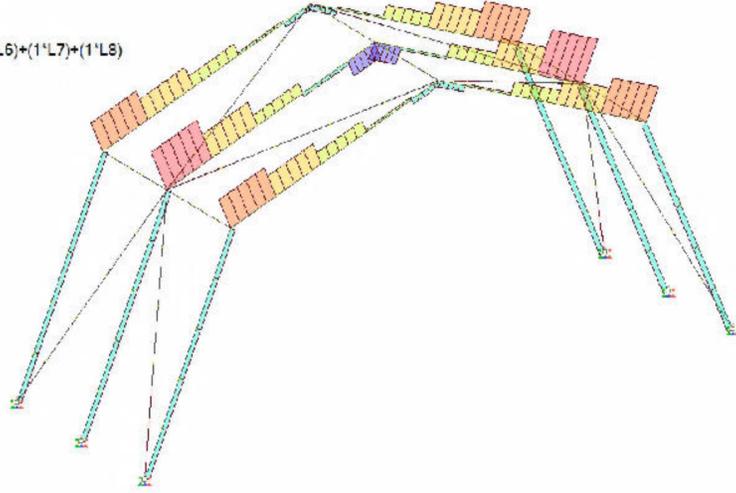
3. Сочетание "2 стадия"
 min=-1.564 (331); max=0.1571 (86)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)+(1*L8)



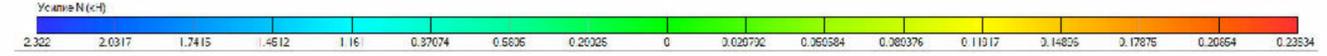
3. Сочетание "2 стадия"
 min=-0.1544 (356); max=0.246 (371)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)+(1*L8)



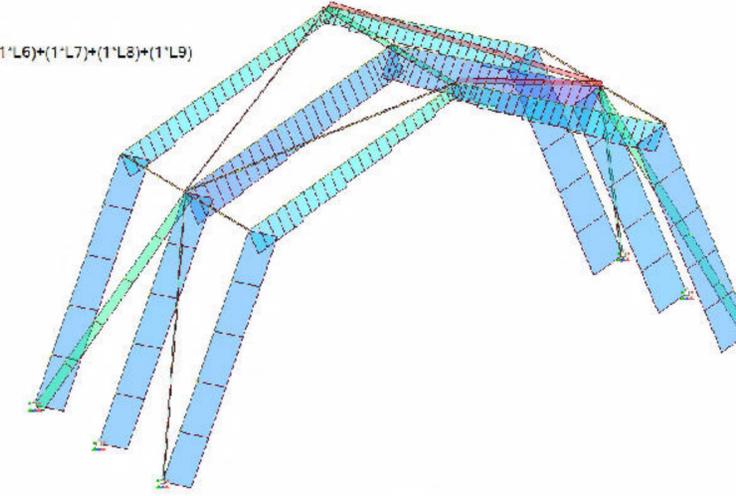
3. Сочетание "2 стадия"
 min=-0.3503 (380); max=0.8874 (356)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)+(1*L8)



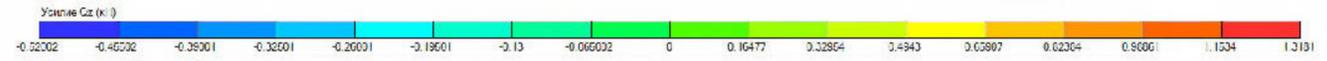
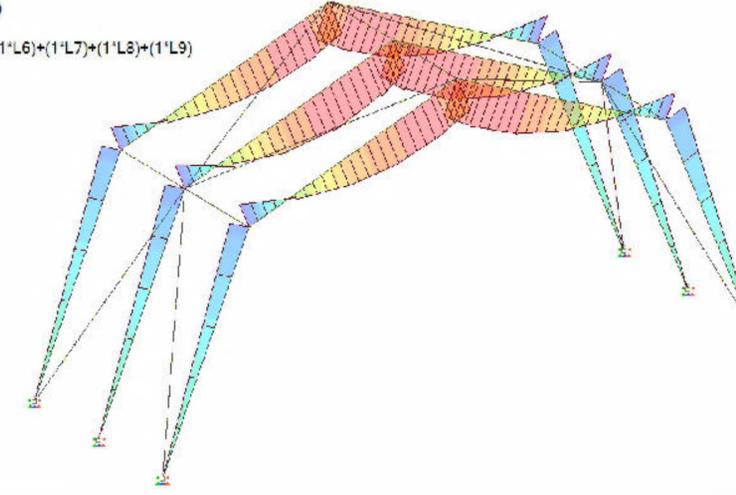
Результаты расчета конструкции от 3 стадии нагружения



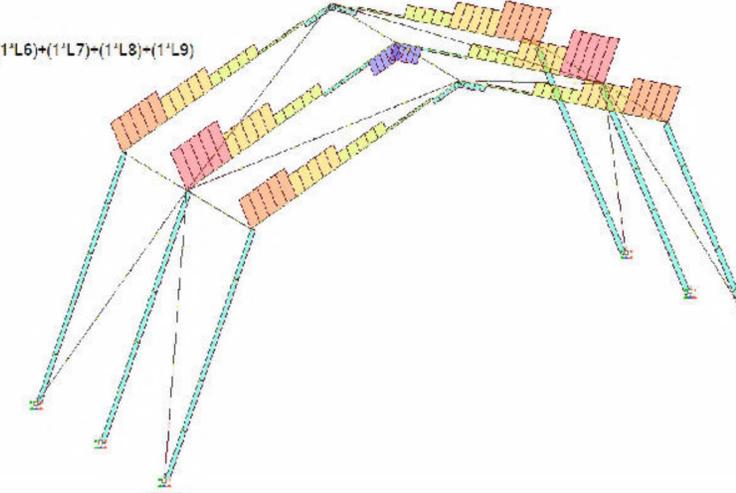
4. Сочетание "3 стадия"
 min=-2.322 (331); max=0.2383 (86)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)+(1*L8)+(1*L9)



4. Сочетание "3 стадия"
 min=-0.2284 (356); max=0.3656 (371)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)+(1*L8)+(1*L9)



4. Сочетание "3 стадия"
 min=-0.52 (380); max=1.318 (356)
 РСН
 (1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L6)+(1*L7)+(1*L8)+(1*L9)



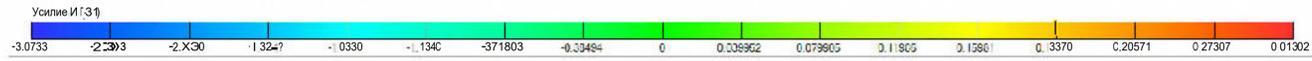
N

My

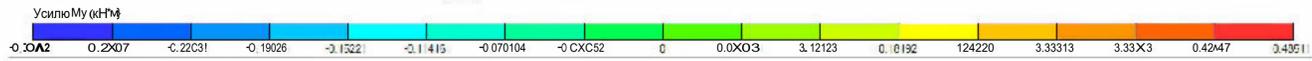
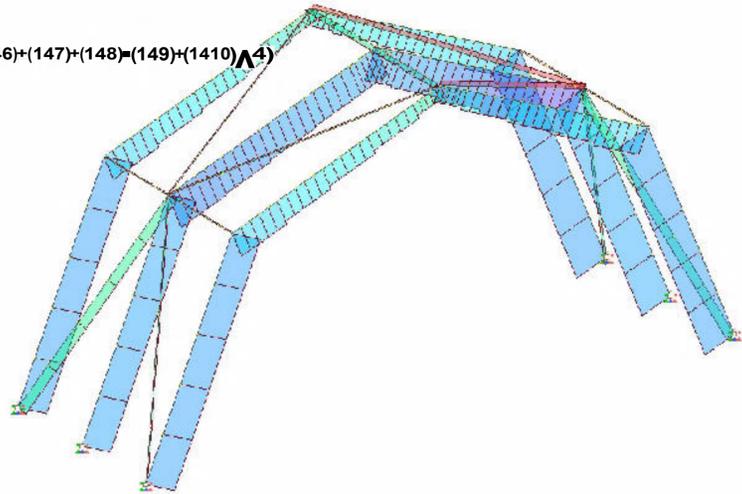
Qz

						ИР-08.05.01-2023 К ²		
						ФГАОУ "Сибирский федеральный университет"		
						Инженерно-строительный институт		
Изм.	Кол.	Лист	№ Эск.	Подпись	Дата	Ассистент ИС	Эксперт	Исполн.
						Александров А.А.	Сидоров А.А.	Сидоров А.А.
						Сидоров А.А.	Сидоров А.А.	Сидоров А.А.
						Сидоров А.А.	Сидоров А.А.	Сидоров А.А.
						Сидоров А.А.	Сидоров А.А.	Сидоров А.А.
						Результаты расчетов в ПК Лира-СОФТ (продолжение)		
						Кафедра СКУС		

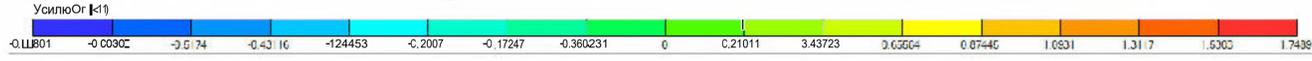
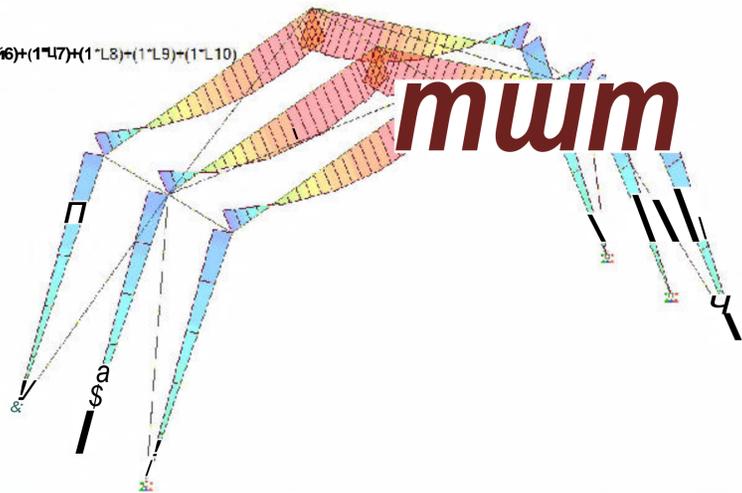
Результаты расчета конструкции от 4 стабильных нагрузок



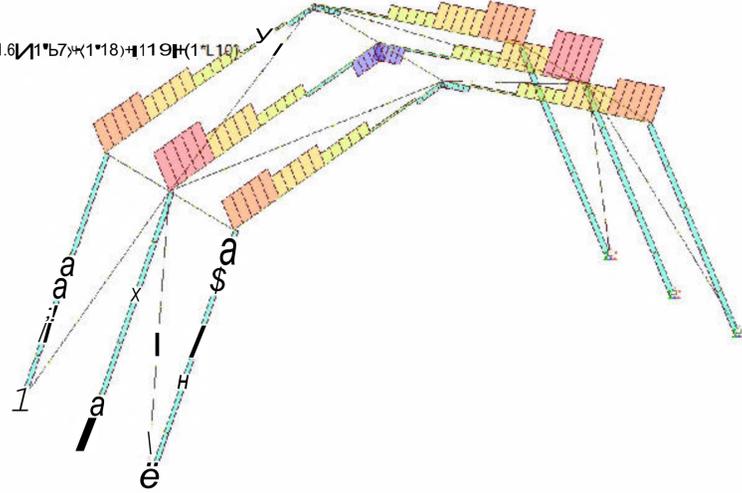
5. Сочетание "4 стадия"
 шп=3.08 (331); тах=0.3156 (86)
 РСН
 (141)+(142)+(112)+(144)+(145)+(146)+(147)+(148)+(149)+(1410)+(1411)



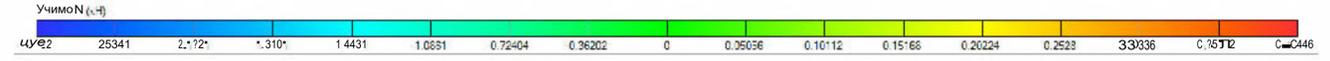
5. Сочетание "4 стадия"
 гтг=-0.3044 (356); тах=0.4851 (371)
 РСН
 (111)+(112)+(113)+(114)+(115)+(116)+(117)+(118)+(119)+(1110)



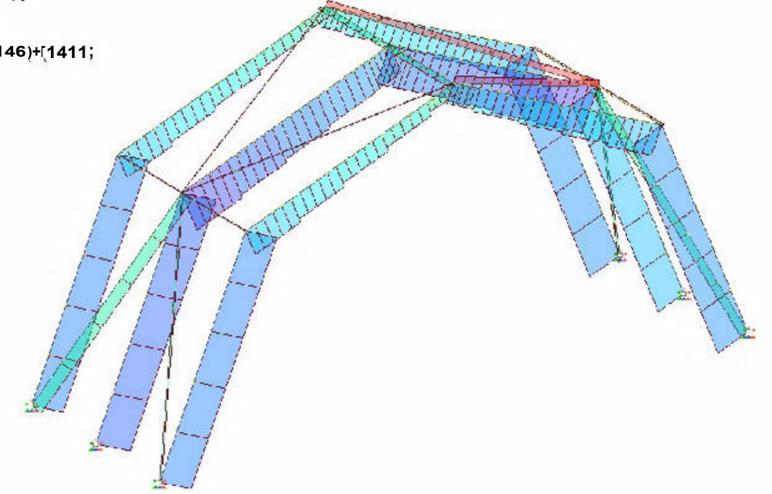
5. Сочетание "4 стадия"
 гтг=-0.6899 (378); тах=1.749 (356)
 РСН
 (111)+(112)+(113)+(114)+(115)+(116)+(117)+(118)+(119)+(1110)



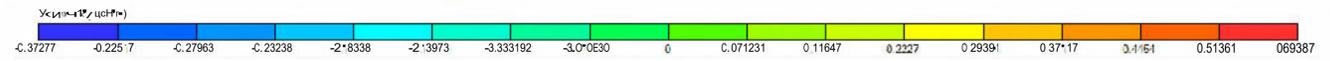
Результаты расчета конструкции от кососимметричной стабильной нагрузки



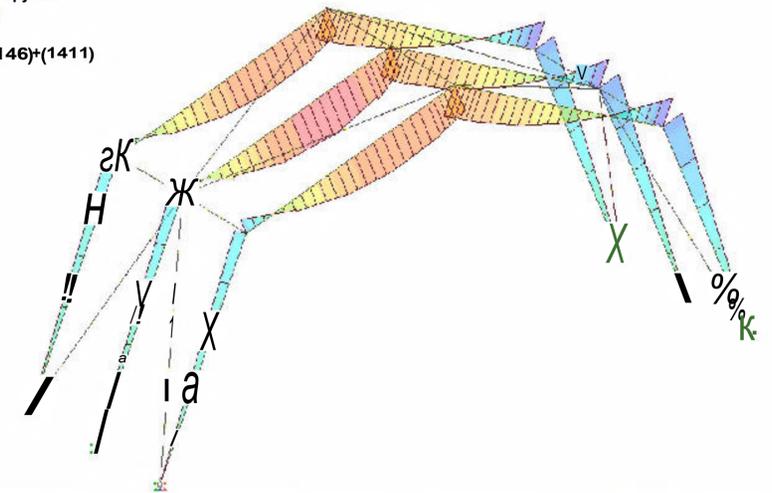
6. Сочетание "Кососимметричная нагрузка"
 гтг=-2.896 (331); тах=0.4045 (86)
 РСН
 (141)+(142)+(143)+(144)+(145)+(146)+(1411);



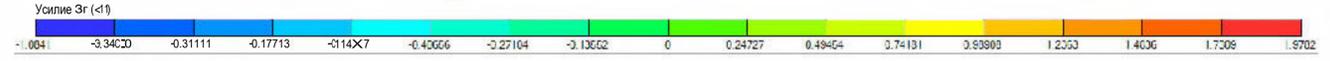
N



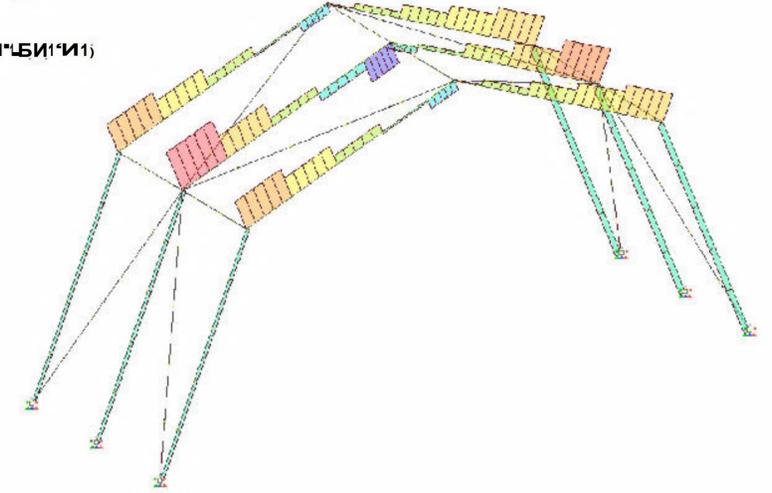
6. Сочетание "Кососимметричная нагрузка"
 шп=-0.3728 (331); тах=0.5939 (371)
 РСН
 (141)+(142)+(143)+(144)+(145)+(146)+(1411)



Mu



6. Сочетание "Кососимметричная нагрузка"
 тшт=-1.084 (378); тах=1.978 (356)
 РСН
 (111)+(112)+(113)+(114)+(115)+(116)+(117)+(118)+(119)+(1110)



Qz

						ЛР-06.06.01-2023 К->		
						ФГАОУ "Сибирский государственный университет" Инженерно-строительный институт		
И.м.	Кол.	Лит.	№	Поб.	Лит.	ГТ	Днев	Лист
Р.И.И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.
И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.
И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.	И.И.
						Кафедра СкиУС		

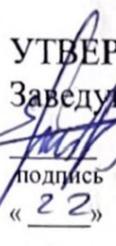
Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

институт
Строительные конструкции и управляемые системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Деордиев

подпись инициалы, фамилия

« 22 » 06 2023 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

код и наименование специальности

Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере
конструкции туннельного типа

тема

Пояснительная записка

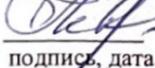
Руководитель

Выпускник

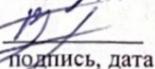
Выпускник

 21.06.23 доцент, к.т.н

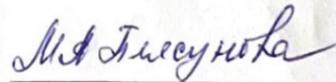
подпись дата должность, ученая степень



подпись, дата



подпись, дата



инициалы, фамилия



инициалы, фамилия



инициалы, фамилия

Красноярск 2023

Приложение титульного листа дипломной работы по теме
Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на
примере конструкции туннельного типа

Консультанты по
разделам:

Разработка архитектурных решений
наименование раздела


подпись, дата


инициалы, фамилия

Разработка расчетной схемы
с использованием программных
комплексов
наименование раздела


подпись, дата


инициалы, фамилия

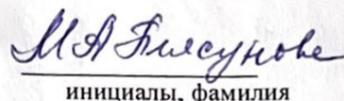
Разработка конструктивного решения
и разработка узлов
наименование раздела


подпись, дата


инициалы, фамилия

Численные исследования НДС узлов
конструкции из стеклопластика
с помощью ПК Лира
наименование раздела


подпись, дата


инициалы, фамилия

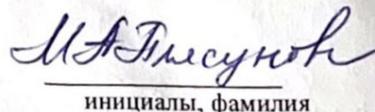
Натурные испытания фрагмента
покрытия конструкции
тоннельного типа
наименование раздела


подпись, дата

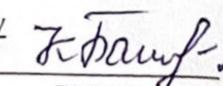

инициалы, фамилия

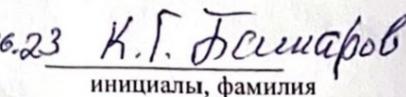
Обработка и сравнение
теоретических и экспериментальных
исследований
наименование раздела


подпись, дата

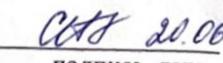

инициалы, фамилия

Разработка мероприятий по монтажу
исследуемой конструкции, ТЭП
наименование раздела


подпись, дата

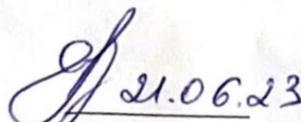

инициалы, фамилия

Экономическое обоснование
наименование раздела


подпись, дата


инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата


инициалы, фамилия

Студентам Тимофееву Алексею Сергеевичу, Ковалю Тарасу Евгеньевичу

фамилия, имя, отчество

Группа СС17-12 Направление (специальность) 08.05.01

номер

код

«Строительство уникальных зданий и сооружений»

полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа

Утверждена приказом по университету № 5954/с от 13.04.2023

Руководитель ВКР М.А. Плясунова, к.т.н., доцент каф. СКиУС

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР в виде работы

Инженерно-геологическая колонка для г. Норильска, шахтотомля и районное надруды.

Задание по разделам ВКР в виде работы

Пояснительная записка

Описание исследования, анализ и представление результатов. Экономическое обоснование и технологии монтажа.

Графический материал с указанием основных чертежей

Предоставление эпюры надруды. Архитектурное решение, конструктивное решение; результаты расчетов; фотографии прототипа эксперимента; строительный план.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР в виде работы

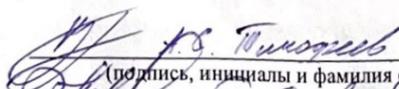
Наименование раздела	Срок выполнения
Разработка архитектурных решений	01.10.2022 - 07.10.2022
Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов	10.10.2022 - 10.11.2022
Разработка конструктивного решения и разработка узлов	10.11.2022 - 21.11.2022
Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира	21.11.2022 - 10.02.2023
Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции тоннельного типа	10.02.2023 - 03.03.2023
Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований	03.03.2023 - 01.04.2023
Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции, ТЭП	01.04.2023 – 15.04.2023
Экономическое обоснование	15.04.2023 – 05.05.2023

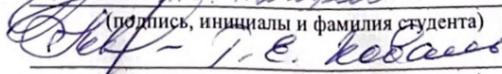
Руководитель ВКР



(подпись)

Задание принял к исполнению



(подпись, инициалы и фамилия студента)


(подпись, инициалы и фамилия студента)

« 31 » января 2023 г.

Отзыв руководителя на выпускную квалификационную работу

Тема «Исследование НДС арочного покрытия из стеклопластика на примере конструкции туннельного типа»

Авторы Коваль Тарас Евгеньевич, Тимофеев Алексей Сергеевич

Институт Инженерно-строительный

Выпускающая кафедра СКиУС

Специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель к.т.н., доцент кафедры СКИУС, ИСИ СФУ М.А. Плясунова

Актуальность темы ВКР Актуальность данной темы обуславливается тем, что развитию транспортной инфраструктуры в северных регионах часто препятствуют суровые погодные условия, это приводит к значительным экономическим потерям и создает угрозу для жизни людей. Потребность в надежном и эффективном решении для защиты автомобильных дорог побудила к рассмотрению и анализу возможность использования специальных туннельных конструкций.

Логическая последовательность структуры работы соответствует СТО 7.5-07-2021.

Введение

1. Разработка архитектурных решений
2. Разработка расчетной схемы с использованием программных комплексов
3. Разработка конструктивного решения и разработка узлов
4. Численные исследования НДС узлов конструкции из стеклопластика с помощью ПК Лира
5. Натурные испытания фрагмента покрытия конструкции тоннельного типа
6. Обработка и сравнение теоретических и экспериментальных исследований
7. Разработка мероприятий по монтажу исследуемой конструкции, ТЭП
8. Экономическое обоснование

Аргументированность и конкретность выводов и предложений

Все решения обоснованы и подкреплены расчетами. Выводы по результатам исследования аргументированы, логически последовательны.

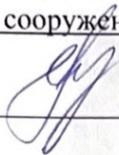
Уровень самостоятельности и ответственности при работе над темой ВКР Тарас Евгеньевич и Алексей Сергеевич в ходе написания дипломной работы показали высокий уровень теоретических и практических знаний и навыков, самостоятельность, инициативность в принятии решений.

Достоинства работы Тема выпускной квалификационной работы в целом раскрыта полностью и соответствует предъявленным требованиям.

Недостатки работы Замечаний, снижающих оценку, не отмечено.

В целом работа оценена на отлично, а ее авторы выпускники Коваль Тарас Евгеньевич и Тимофеев Алексей Сергеевич заслуживают присвоения им квалификации инженер-строитель по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель ВКР _____



М.А. Плясунова