

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Строительных конструкций и управляемых систем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ С. В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»
код и наименование специальности

Исследование линзообразной плиты покрытия
из деревянных полосовых элементов
тема

Руководитель

подпись, дата

доц., к.т.н.
должность, ученая степень

С. В. Григорьев
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

О. О. Третьяк
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

ВКР в виде работы

Тема: «Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов»

Автор: студентка гр. СС14-11 Третьяк Олеся Олеговна

ПЛАН РАБОТЫ

Введение

Цель и задачи

Глава 1. Обзор существующих конструктивных решений

Глава 2. Численное исследование принятого конструктивного решения

2.1 Анализ формообразования

2.2 Расчёт и выбор наиболее эффективных геометрических параметров конструкции 6-тиметровой плиты

2.4 Расчёт принятой конструкции плиты

2.5 Определение коэффициента подобия для уменьшенной испытательной модели

2.6 Расчёт модели

Глава 3. Испытания

3.1 Описание испытательной модели и установки

3.2 Методика и содержание испытаний

3.3 Результаты испытаний

Заключение

Подпись руководителя

подпись, дата

С.В. Григорьев
инициалы, фамилия

Подпись зав. кафедрой

подпись, дата

С.В. Деордиев
инициалы, фамилия

Подпись руководителя отд. ПГС

подпись, дата

Н.Ю. Клиндух
инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Обоснование конструктивного решения	5
1.1 Обзор существующих конструктивных решений	5
1.2 Вариантное проектирование	6
1.2.1 Линзообразный блок покрытия из металлического профлиста	6
1.2.2 Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов	8
1.2.3 Линзообразная плита покрытия из металлических стержневых элементов	10
1.2.4 Техничко-экономическое сравнение вариантов	11
1.2.5 Выводы (постановка задачи исследования)	11
2 Численное исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов	12
2.1 Задание расчетной схемы и сбор нагрузок.....	12
2.2 Результаты расчета	19
2.3 Проверка устойчивости, жесткости и прочности конструкции	22
2.4 Подбор оптимальной толщины сечения элементов поясов	29
2.5 Подбор оптимального начального выгиба элементов поясов.....	32
2.6 Подбор оптимального количества стоек	34
2.7 Выбор рационального варианта постановки связей.....	37
2.8 Расчет и конструирование узлов конструкции	41
2.8.1 Опорный узел	41
2.8.2 Узел крепления раскосов	55
2.9 Определение коэффициента подобия для уменьшенной испытательной модели	68
2.10 Проверка устойчивости, жесткости и прочности уменьшенной модели	75
2.11 Расчет и конструирование узлов уменьшенной модели	79
2.11.1 Опорный узел	79
2.11.2 Узел крепления раскосов	87
3 Экспериментальные исследования	96
3.1 Испытание наконечника с болтовым соединением на растяжение	96
3.2 Цели, методика и содержание испытаний.....	97
3.3 Описание установки для испытательной модели	99

3.4 Результаты испытаний.....	104
3.5 Анализ полученных результатов.....	109
Заключение	113
Список использованных источников	114
Приложение А. Теплотехнический расчет линзообразной плиты покрытия	115
Приложение Б. Локальный ресурсный сметный расчет для линзообразного блока покрытия из металлического профлиста	118
Приложение В. Локальный ресурсный сметный расчет для линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов .	123
Приложение Г. Численный расчет линзообразной плиты покрытия из металлических стержневых элементов.....	131
Г.1 Задание расчетной схемы и сбор нагрузок.....	131
Г.2 Результаты расчета.....	135
Приложение Д. Локальный ресурсный сметный расчет для линзообразной плиты покрытия из металлических труб	140
Приложение Е. Анализ частоты дробления поясов на пластинчатые конечные элементы.....	146
Приложение Ж.....	152

ВВЕДЕНИЕ

В наше время довольно активно ведется освоение земель Крайнего Севера, их урбанизация и заселение. Более половины нашей страны находится в этом районе. В северных районах сосредоточен большой запас ископаемых, в особенности нефти, газа и угля, здесь находятся многие крупные перерабатывающие предприятия (такие, как «Арктикгаз», газпромдобыча «Ямбург», ООО «ЗНК»).

На мерзлых грунтах с неоднородной структурой весьма проблематично устроить фундаменты, поэтому все больший упор делается на возведение зданий малых пролетов с небольшой площадью застройки. Также помехой является труднодоступность района и затруднительная поставка материалов и готовых конструкций, следовательно, наиболее популярные конструктивные системы – сборный и монолитный железобетон – применить в условиях строительства районов Крайнего Севера становится практически невозможным. Поэтому все более популярными в этих условиях становятся модульные здания, обладающие следующими достоинствами:

- максимально ускоренные сроки строительства;
- минимальные материало-, трудо- и энергоемкость;
- минимальный вес строительных материалов для перевозки;
- повышенная конструктивная безопасность, устойчивость зданий и сооружений с фундаментами на многолетних мерзлых грунтах;
- обеспечение экологической и пожаробезопасности, долговечности зданий и сооружений;
- повышенная комфортность и применение современных архитектурных решений;
- энергосбережение при эксплуатации зданий и сооружений;
- минимизация стоимости строительства.

В данных условиях целесообразным становится исследование и проектирование новых конструкций блочного типа, подходящих для применения в модульных зданиях и одновременно отвечающих задачам благоустройства и использования инновационных решений.

Цель данной дипломной работы заключается в исследовании эффективной конструкции лизнообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов, обеспечивающих снижение веса и затрат на доставку при одновременном снижении металлоемкости, трудоемкости изготовления и монтажа, а также возможности монтировать как готовый блок «с колес», так и по частям непосредственно на строительной площадке. В исследование входит численный расчет конструкции с использованием ПК SCAD, моделирование уменьшенной модели натурной конструкции и испытание модели в лабораторном корпусе ИСИ СФУ, результат которого определит работоспособность и эффективность конструкции.

1 Обоснование конструктивного решения

1.1 Обзор существующих конструктивных решений

Известны покрытия зданий, в которых используются плоские линзообразные деревянные фермы, расположенные вдоль здания с шагом, равным шагу колонн [1], например, фермы, разработанные С.Б. Турковским (рис. 1.1.1, 1.1.2). Недостаток этого решения - отсутствие пространственной работы и, следовательно, повышенная стоимость материалов, а также большой вес конструкций.

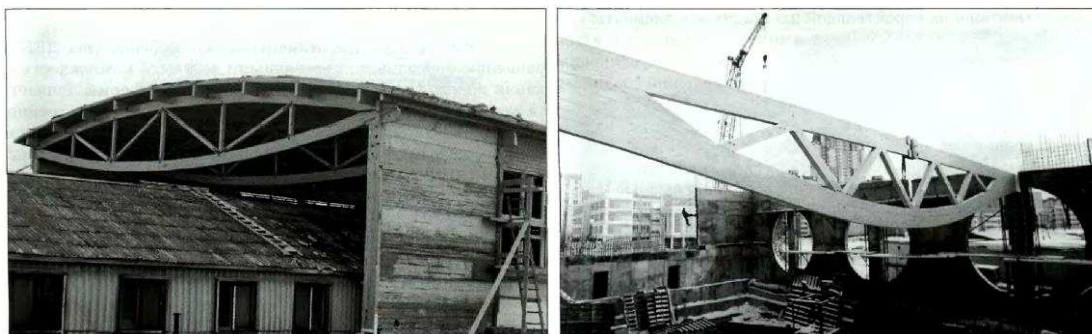


Рисунок 1.1.1 – Линзообразные фермы

Более эффективно в современных экономических условиях применение блочных конструкций. Например, в Казанском инженерно-строительном институте разработаны пространственные блоки покрытия 12, 18 и 24 м длиной и шириной 3 м, включающие продольные фермы с криволинейным верхним и нижним поясами, поперечные прогоны из гнутых швеллеров и прикрепленного к ним профилированного настила. Настил прикреплен также к верхним поясам продольных ферм [2] (рис. 1.1.3). По результатам испытаний был сделан вывод, что профилированный настил не эффективно используется для подкрепления верхнего пояса между прогонами. Впрочем, такая конструкция более эффективна по металлоемкости по сравнению с плоскими конструкциями.



Рисунок 1.1.2 – Линзообразные фермы (Дворец спорта «ЯНТАРЬ» в Строгино пролетом 45 м)

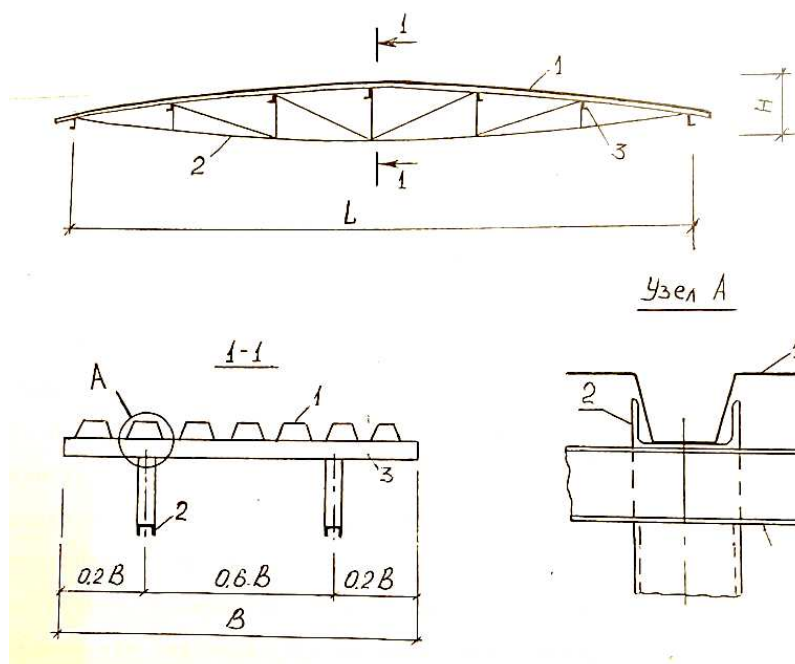


Рисунок 1.1.3 – Пространственный блок покрытия (Казанский ИСИ):
1 – профилированный настил; 2 – ферма; 3 – прогон (поперечина)

1.2 Вариантное проектирование

1.2.1 Линзообразный блок покрытия из металлического профлиста

Наиболее близким техническим решением (прототипом) исследуемой плиты является пространственная плита покрытия, включающая пояса криволинейного очертания из профилированных листов, работающих совместно с составными стойками из гнутых уголков; в торцах плиты гофры верхнего пояса размещены в гофрах нижнего пояса и соединены между собой (рис. 1.2.1.1, 1.2.1.2) [4, 5]. Помимо экономии материалов, получаемой в результате включения профилированного листа в совместную работу со стойками, существенное снижение достигается при применении обшивок из стального профнастила за счет исключения кровельных работ. Совместная работа поясных листов обеспечивается расположенными между ними деревянными промежуточными элементами (стойками и раскосами). Изгиб поясов выполнен по квадратной параболе с максимальным прогибом в центре – форме, наиболее рациональной для восприятия пролетного момента.

В линзообразном блоке покрытия (рис. 1.2.1.1) пролетом 12 м и шириной 3 м верхний и нижний пояса из профилированных листов С44-1000-0,8 по ГОСТ 24045-94 изогнуты по форме квадратной параболы и прижаты к распоркам сквозного сечения из гнутых уголков при помощи сквозных стальных тяжей диаметром 4 мм [5]. Шаг распорок – 1 м. Такое решение позволяет придать профлисту рациональную криволинейную форму без использования специального кондуктора. Профилированные листы нижнего и верхнего поясов расположены широкой полкой вверх, а узкой – вниз. Это

сделано с целью уменьшения площади распределения нормальных сжимающих напряжений в полках профлиста, являющихся критерием местной потери его устойчивости. Конструктивная высота блока – 0,6 м.

Однако, недостатком указанного технического решения является высокая стоимость металлического профилированного листа, из которого изготавливаются пояса конструкции. Кроме того, данная конструкция сравнительно более трудоемка в изготовлении.

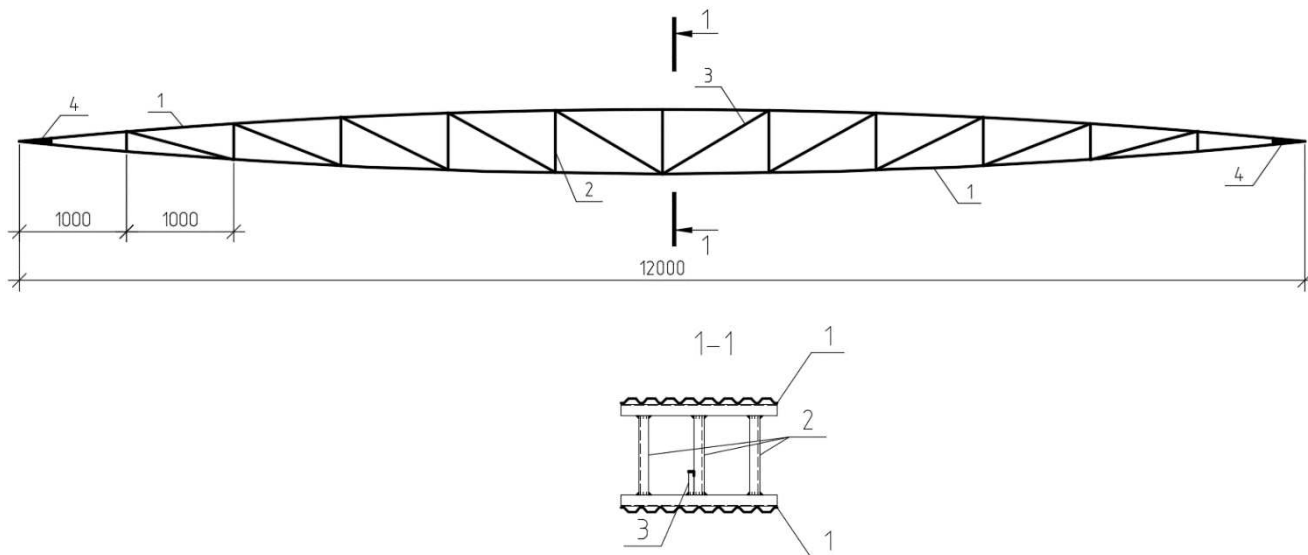


Рисунок 1.2.1.1 – Линзообразный блок покрытия пролетом 12 м:
1 – профилированный лист; 2 – стойки из гнутых уголков; 3 – раскосы из прокатных уголков; 4 – заполнение эпоксидным компаундом

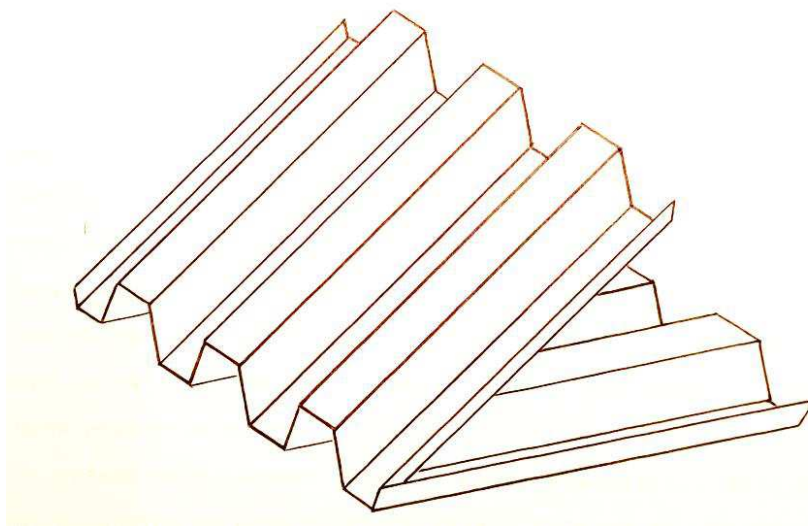


Рисунок 1.2.1.2 – Конструктивное решение узла линзообразного блока покрытия

Технико-экономические показатели линзообразного блока покрытия из металлического профлиста приведены в таблице 1. Локальный сметный расчет представлен в Приложении Б.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели линзообразного блока покрытия из металлического профлиста

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Площадь покрытия	м ²	36
2	Стоимость материалов (прил. Б)	тыс.р.	105,4
		р./м ²	2928
3	Материалоемкость (с учетом затрат на утеплитель и покрытие)	кг/м ²	43,32
4	Металлоемкость	кг/м ²	22,17
5	Трудозатраты	чел-час	2,52

1.2.2 Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов

В целях усовершенствования прототипа (линзообразного блока покрытия из металлического профлиста), а именно, снижения его веса, стоимости и металлоемкости, а также повышения технологичности изготовления и возможности собирать конструкцию из отдельных элементов на стройплощадке, разработана модель конструкции линзообразной формы пространственной разреженной структуры, образованной полосовыми элементами стандартных сечений, а именно - деревянными досками [6]. 3D-модель линзообразной плиты покрытия – ЛПП – представлена на рис. 1.2.2.1. Вид сбоку представлен на рис. 1.2.2.2. Верхнему (1) и нижнему (2) поясам криволинейного очертания, изогнутым в продольном направлении и чередующимся на торцах, придается пространственная разреженная структура. Поддерживают пояса в раздвинутом состоянии деревянные стойки-распорки сплошного сечения (3), прикрепляемые к стойкам шарнирно при помощи саморезов. Между стойками расположены вертикальные крестовые связи из деревянных стержней (4).

Узловое соединение поясов представлено на рис. 1.2.2.3. В торцах ЛПП к концам каждого из полосовых элементов поясов при помощи винтов прикреплены наконечники – изогнутые металлические пластины (5) с отверстиями. Наконечники скрепляются между собой в поперечном направлении с помощью сквозного стержня (6) – стальной шпильки или трубы, проходящей сквозь отверстия наконечников.

Наконечники с отверстиями позволяют полосовым элементам поясов поворачиваться относительно друг друга вокруг поперечной оси, проходящей через опорную часть ЛПП, при раздвижке верхнего и нижнего поясов в процессе ее изготовления.

Длина ЛПП составляет 6 м, ширина – 1,32 м, конструктивная высота – 0,6 м.

Численный расчет модели ЛПП приведен в разделе 2 дипломной работы. Локальный ресурсный сметный расчет приведен в Приложении В.

Техничко-экономические показатели линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов приведены в таблице 2.



Рисунок 1.2.2.1 – 3D-модель пространственной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов

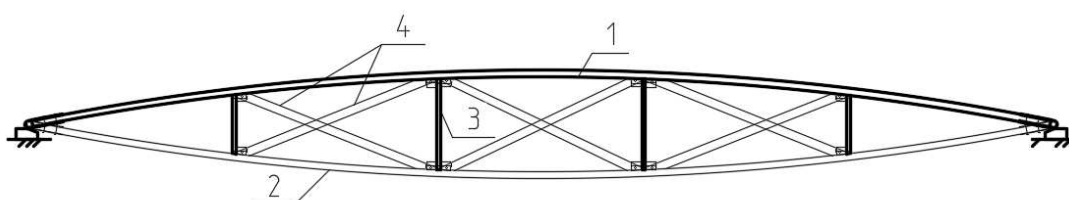


Рисунок 1.2.2.2 – ЛПП, вид сбоку

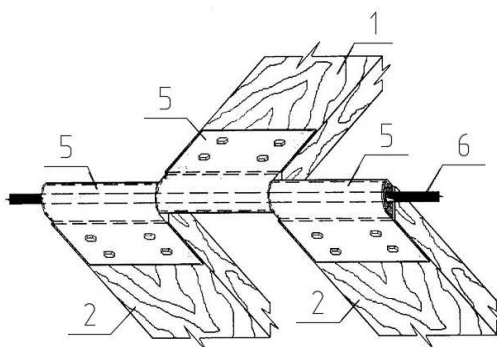


Рисунок 1.2.2.3 – Вариант узлового соединения поясов ЛПП

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Площадь покрытия	м ²	7,92
2	Стоимость материалов (прил. В)	руб./м ²	1893
3	Материалоемкость (с учетом затрат на утеплитель и покрытие)	кг/м ²	44,73
4	Металлоемкость	кг/м ²	4,15
5	Трудозатраты на монтаж	чел-час	2,77

1.2.3 Линзообразная плита покрытия из металлических стержневых элементов

Модель ЛПП в металлическом исполнении аналогична модели ЛПП из дерева. Плита покрытия состоит из поясов разреженной структуры, образованных металлическими стержневыми элементами с сечением из квадратных труб. Стержни образуют изогнутые очертания элементов поясов, а сами элементы расположены на некотором расстоянии друг от друга. В раздвинутом состоянии пояса поддерживаются уголками.

Пространственная модель плиты, элементами которой являются стержни, показана на рис. 1.2.3.1. Длина плиты составляет 6 м, ширина – 1,155 м, конструктивная высота – 0,6 мм.

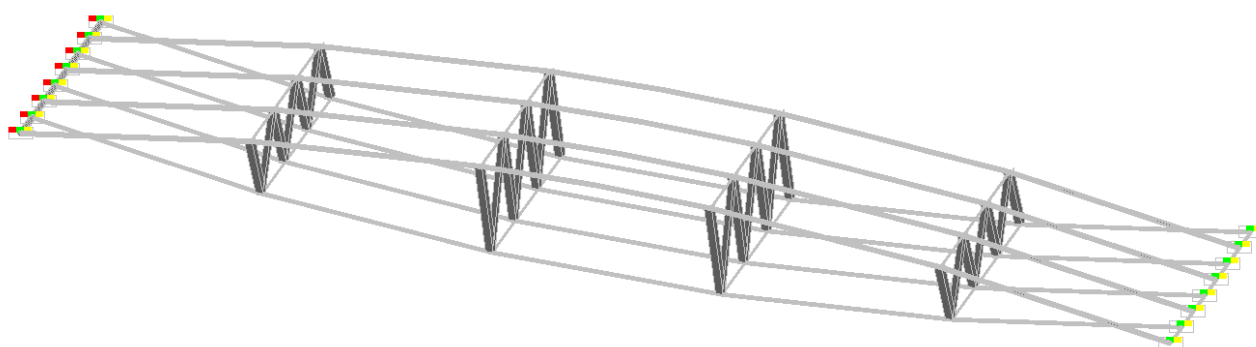


Рисунок 1.2.3.1 – Расчетная схема плиты в программе SCAD

Численный расчет плиты приведен в приложении В, локальный сметный ресурсный расчет по материалам – в приложении Г.

Технико-экономические показатели линзообразной плиты покрытия из металлических стержневых элементов из труб квадратного сечения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технико-экономические показатели линзообразной плиты покрытия из металлических труб квадратного сечения

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Площадь покрытия	м ²	7,2
2	Стоимость материалов (прил. Д)	р./м ²	2018
3	Материалоемкость (с учетом затрат на утеплитель и покрытие)	кг/м ²	37,29
4	Металлоемкость	кг/м ²	21,26
5	Трудозатраты на монтаж	чел-час	2,83

1.2.4 Техничко-экономическое сравнение вариантов

В ходе вариантного проектирования было рассмотрено три варианта линзообразной плиты покрытия, один из которых – линзообразный блок покрытия из металлического профлиста, являющийся прототипом исследуемой плиты покрытия, – был запроектирован для пролета 12 м [5], соответственно все показатели были приведены к единице площади. Сравнение по трудо-, материало- и металлоемкости, а также по стоимости и трудозатратам на изготовление проводилось для трех вариантов. Сравнение вариантов приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение вариантов линзообразных плит

№ п/п	Наименование показателя	Вариант 1: Линзообразный блок из профлиста	Вариант 2: Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов	Вариант 3: Линзообразная плита покрытия из металлических квадратных труб
1	Площадь покрытия, м ²	36	7,92	7,2
2	Материалоемкость, кг/м ²	43,32	44,73	37,29
3	в т.ч. металлоемкость, кг/м ²	22,17	4,15	21,26
4	Стоимость материалов, руб/м ²	2928	1893	2018
5	Трудозатраты на монтаж	2,52	2,77	2,83

1.2.5 Выводы (постановка задачи исследования)

Наиболее значимыми показателями при выборе являются показатели стоимости изготовления и транспортировки, трудозатрат и металлоемкости. Стоит иметь ввиду, что применение плиты более ориентировано на районы Крайнего Севера, где необходимо использование стали класса не менее С345, которая обладает большей стоимостью, нежели сталь класса С235 или С245. Следовательно, гораздо дороже будет изготовление конструкций с большей металлоемкостью. Кроме того, конструкции со сварными швами придется изготавливать на заводе, так как в условиях низких температур сварочные работы могут быть затруднены, нарушена их непрерывность. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее эффективна с учетом всех условий будет линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов.

2 Численное исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов

2.1 Задание расчетной схемы и сбор нагрузок

Расчетная схема пространственной плиты покрытия представляет собой схему статически определимой шарнирной фермы (рис. 2.1.1). Данная схема позволяет выполнить расчет в программе SCAD. Для обеспечения точности расчетов зададим пространственную модель плиты, элементами которой являются пластины (рис. 2.1.1).

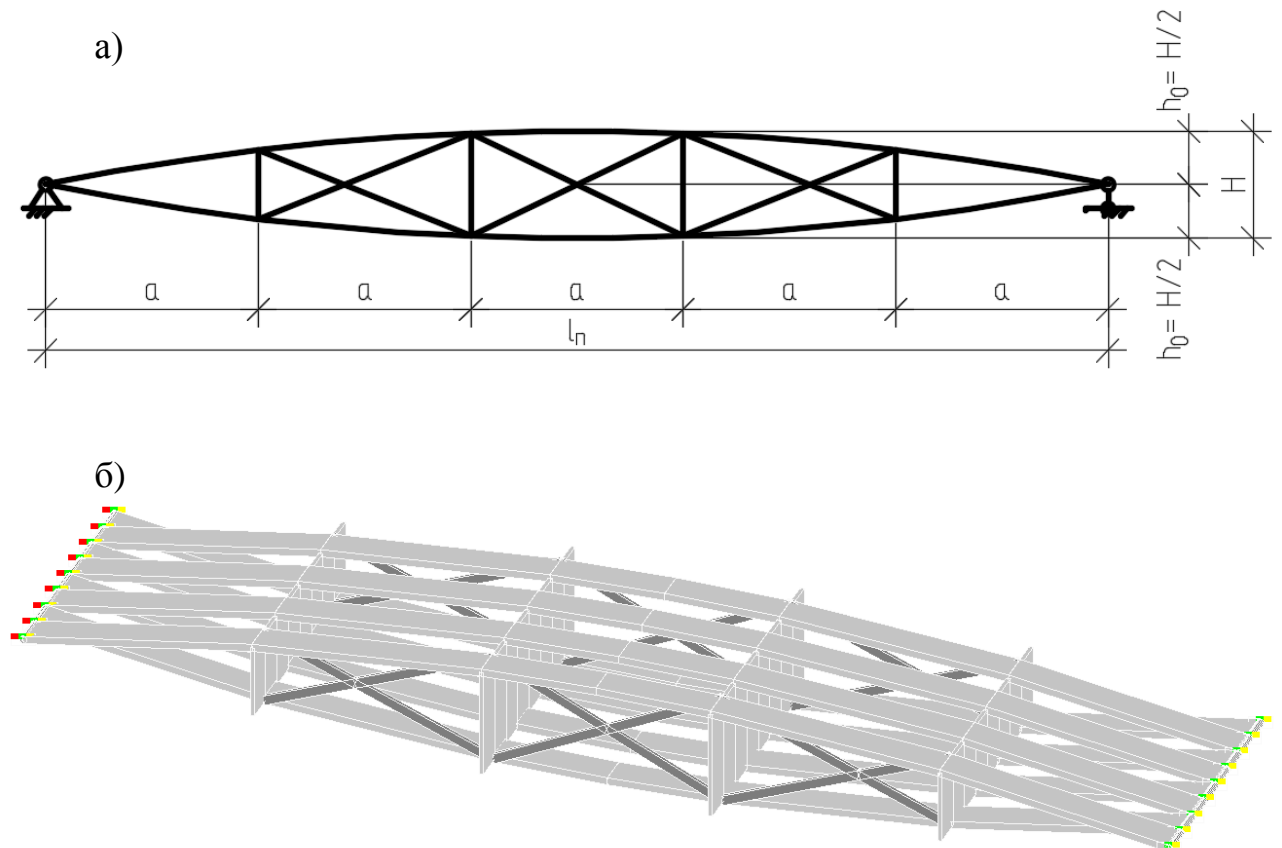


Рисунок 2.1.1 – Линзообразная плита покрытия:

а) Расчетная схема;

б) Пространственная модель в программе SCAD

Исходные данные:

Район – г. Дудинка

Длина плиты $l_n=6$ м

Ширина плиты – 1,32 м

Конструктивная высота плиты $H = 0,6$ м

Шаг распорок $a = 1,2$ м (количество 4 шт.)

Соединение с опорой – шарнирное

Шаг элементов поясов – 330 мм

Количество досок в поясе – 4 шт

Начальный прогиб досок $h_0 = 0,3$ м.

Примем толщину поясной доски равной 40 мм. Ширину доски примем 165 мм.

Элементы верхнего и нижнего пояса зададим пластинами толщиной $t_d=40$ мм типа элемента «пространственный КЭ оболочки», шириной $b_d=165$ мм со следующими жесткостными характеристиками:

- Материал - ортотропный
- Объемный вес $\gamma=4,905$ кН/м³
- Модуль упругости в направлении X_1 $E_{X1}=10000000$ кН/м²
- Модуль упругости в направлении Y_1 $E_{Y1}=400000$ кН/м²
- Коэффициент линейного расширения $\alpha_x=4,2 \cdot 10^{-6}$ 1/°C
- Коэффициент линейного расширения $\alpha_y=2,9 \cdot 10^{-5}$ 1/°C
- Коэффициенты Пуассона:
- $\nu_{xy}=0,02$
- $\nu_{yx}=0,5$
- Модуль сдвига $G_{xy}=500000$ кН/м².

Расчетное сопротивление при изгибе равно 19,5 МПа. Характеристики соответствуют сосновой доске 2 сорта. Общее количество элементов поясов – 8 шт (общая ширина $165 \cdot 8=1320$ мм = 1,32 м).

Распорки (стойки) заданы пластинами типа элемента «прямоугольный КЭ оболочки» с объединением линейных перемещений в совпадающих узлах сопряжения с элементами поясов (для сохранения шарнирности соединения с поясами) толщиной $t_{cm}=21$ мм, шириной 1,32 м и переменной высотой в зависимости от расположения в плите. Разделим плиту на 5 секторов (Рисунок 2.1.2). Распорки, разделяющие 1, 2 и 4, 5 секторы, имеют высоту 340,8 мм; разделяющие 2, 3 и 3, 4 секторы – 566,4 мм. Соответственно, шаг распорок – 1,2 м.



Рисунок 2.1.2 – Условное деление плиты по секторам

Жесткостные характеристики распорок соответствуют хвойной фанере:

- Материал - ортотропный
- Объемный вес $\gamma=5,4$ кН/м³
- Модуль упругости в направлении X_1 $E_{X1}=9000000$ кН/м²
- Модуль упругости в направлении Y_1 $E_{Y1}=6000000$ кН/м²
- Коэффициент линейного расширения $\alpha_x=4,2 \cdot 10^{-6}$ 1/°C
- Коэффициент линейного расширения $\alpha_y=2,9 \cdot 10^{-5}$ 1/°C
- Коэффициенты Пуассона:
- $\nu_{xy}=0,06$
- $\nu_{yx}=0,09$
- Модуль сдвига $G_{xy}=750000$ кН/м².

Раскосы заданы пространственными стержнями прямоугольным сечением 20x50 мм. Жесткостные характеристики раскосов соответствуют сосновым брускам (рейкам):

- Объемный вес $\gamma=4,905 \text{ кН/м}^3$
- Модуль упругости $E=10000000 \text{ кН/м}^2$
- Коэффициент линейного расширения $\alpha=4,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
- Коэффициент Пуассона $\nu=0,5$.

Стержень для крепления элементов поясов на торцах плиты примем из стали класса С345, сечение – труба электросварная прямошовная 40x1,5 мм по ГОСТ 10704-91.

Соединение раскосов с поясами – шарнирное.

Связи плиты в узлах – с одной (правой) стороны шарнирно-подвижная, ограничивающая перемещение вдоль осей y и z , и шарнирно-неподвижная с другой (левой) стороны, ограничивающая перемещение по всем трем осям x , y и z .

Постоянные нагрузки

В собственный вес плиты, помимо веса ее элементов, включен вес от утеплителя и покрытия плиты. Составляющие нагрузки от собственного веса плиты представлены в таблице 5. Вес стоек и поясов учтен программой SCAD. Теплотехнический расчет представлен в приложении А.

Из-за разреженной структуры нагрузка от утеплителя и покрытия $q_{\text{ут+покр}}$, кН/м^2 , приложенная к верхнему поясу, в результате перераспределения увеличивается в 2 раза (Рисунок 2.1.3, 2.1.4):

$$q_{\text{ут+покр}}^{\text{норм}} = q_{\text{ут+покр}} \cdot 2 = 0,135 \cdot 2 = 0,27 \text{ кН / м}^2 .$$

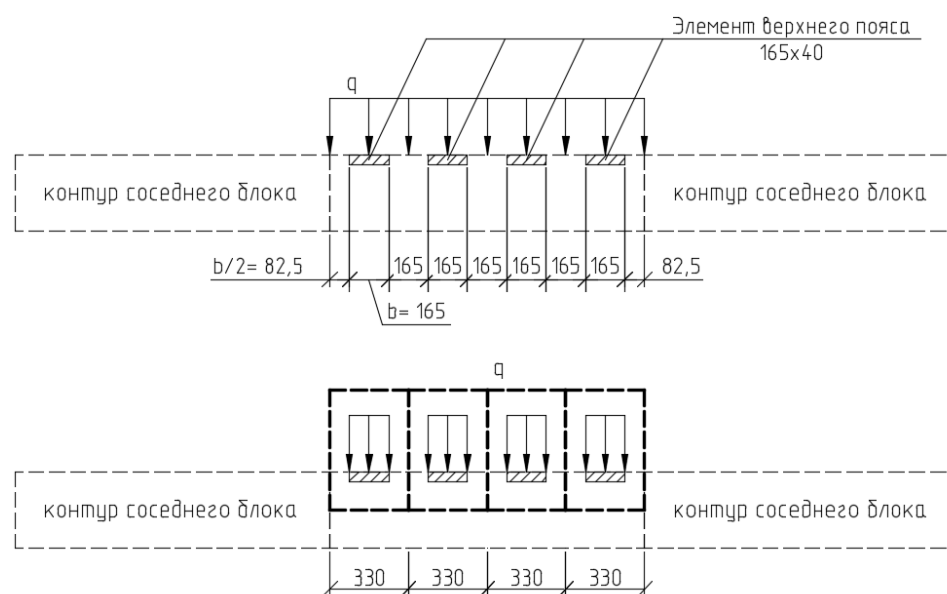


Рисунок 2.1.3 – Перераспределение нагрузки на верхний пояс

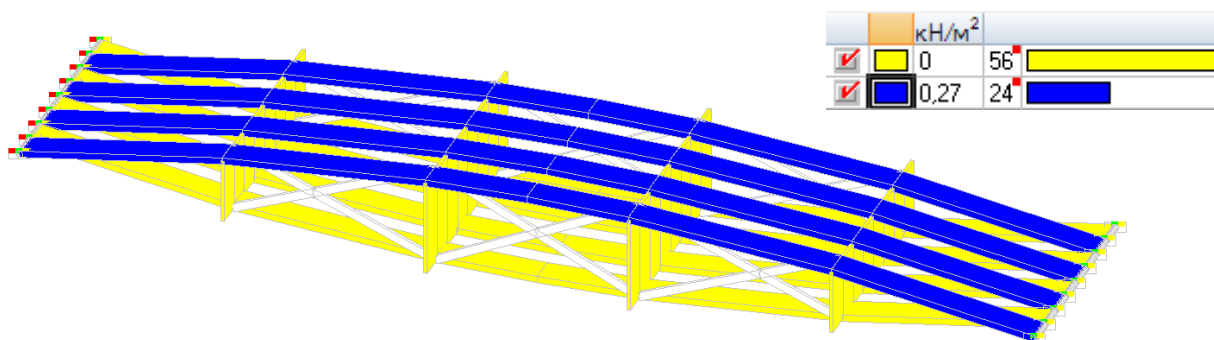


Рисунок 2.1.4 – Приложение нагрузки от утеплителя и покрытия

Помимо нагрузки от собственного веса плиты, необходимо также учесть начальные напряжения, возникающие в досках из-за их начального выгиба. Для этого воспользуемся формулой для определения прогиба f , мм, при равномерно-распределенной нагрузке

$$f = \frac{5}{384} \left(\frac{l_n^4 q}{EJ} \right), \quad (2.1.1)$$

где l_n – длина плиты, мм;

q – равномерно-распределенная нагрузка, Н/мм;

E – модуль упругости, Н/мм²;

J – момент инерции сечения, мм⁴.

Таблица 5 – Нагрузка от собственного веса

Наим. элемента	Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Количество и размеры, м	Значение нормативной нагрузки q_{di} , кН/м ²	Коэф-т надежности по нагрузке γ_f	Значение расчетной нагрузки P_{di} , кН/м ²
Покрытие	Профлист	7850	0,0008x1,32x6	0,062	1,05	0,065
Утеплитель	Минеральная вата	30	0,17x1,32x6	0,073	1,3	0,096
Итого				0,135	1,175 (средний)	0,161

Выразим из формулы (2.1.1) равномерно-распределенную нагрузку q , Н/мм:

$$q = \frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5l_n^4}. \quad (2.1.2)$$

где f – то же, что в формуле (2.1.1);

E – то же, что в формуле (2.1.1);

J – то же, что в формуле (2.1.1);

l_n – то же, что в формуле (2.1.1).

Момент инерции для сечения определяется по формуле

$$J = \frac{b_o t_o^3}{12}, \quad (2.1.3)$$

$$J = \frac{b_o t_o^3}{12} = \frac{165 \cdot 40^3}{12} = 880000 \text{ мм}^4.$$

Подставим известные и найденные величины в формулу для q :

$$q = \frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5 \cdot l_n^4} = \frac{384 \cdot 300 \cdot 10000 \cdot 880000}{5 \cdot 6000^4} = 0,1564 \text{ Н / мм}.$$

Для проверки создадим схему отдельного элемента пояса заданных размеров и жесткости в виде стержня и найдем прогиб от нагрузки $q=0,1564 \text{ Н/мм} = 0,1564 \text{ кН/м}$ (рис. 2.1.5).

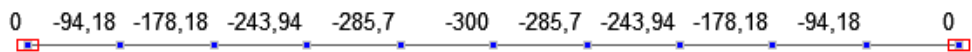


Рисунок 2.1.5 – Проверка значений перемещений в узлах, мм, для задания начальных напряжений в ПК SCAD

Зададим полученное значение равномерно-распределенной нагрузки как загрузку (рисунок 2.1.6), приведя нагрузку из распределенной по длине в распределенную по площади:

$$q_{165} = q / b_o = 0,1564 / 0,165 = 0,948 \text{ кН / м}^2.$$

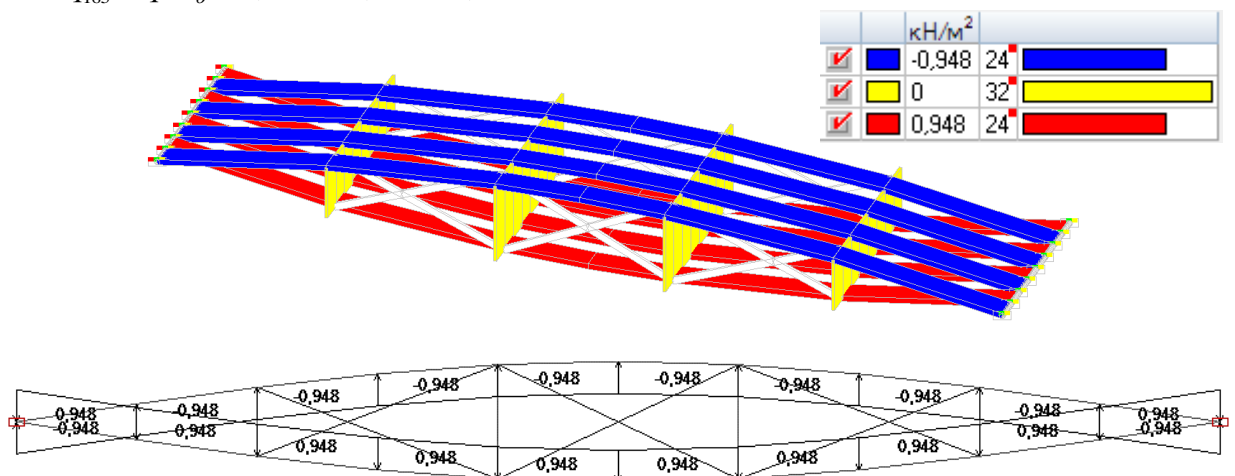


Рисунок 2.1.6 – Нагрузка от начальных напряжений при изгибе поясов

Снеговая нагрузка

Выполним расчет на два варианта действия снеговой нагрузки – равномерно-распределенной во всех точках плиты и односторонней (рис. 2.1.7-2.1.9) [7, прил. Б1].

Нормативное значение снеговой нагрузки определяется по формуле:

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_q, \quad (2.1.4)$$

где S_q – вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, кПа ;

$c_t = 1$ – термический коэффициент [7, п. 10.10];

$c_e = 1$ – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра [7, п.10.9а];

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, $\mu = 1$ при уклоне покрытия $\alpha = 8^\circ < 30^\circ$ [7, табл. Б.1].

В таблице 6 представлены значения расчетной снеговой нагрузки.

Таблица 6 – Расчетная снеговая нагрузка (в продольном направлении)

C_e	C_t	$S_q, \text{кПа}$	Вариант 1			Вариант 2		
			μ	$S_0, \text{кПа}$	$q_{\text{снег}}, \text{кН/м}^2$	μ	$S_0, \text{кПа}$	$q_{\text{снег}}, \text{кН/м}^2$
1	1	3	1	6	6	0,75	6	4,5
						1,25		7,5

Коэффициент надежности для снеговой нагрузки $\gamma_f = 1,4$.

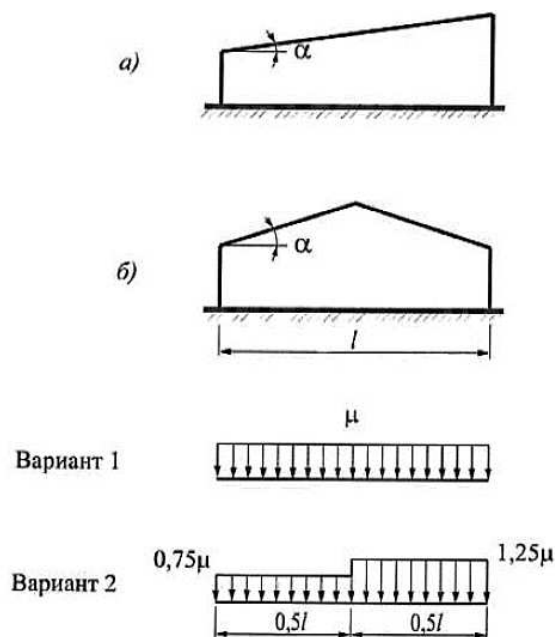


Рисунок 2.1.7 – Распределение коэффициента μ при различных вариантах распределения снеговой нагрузки

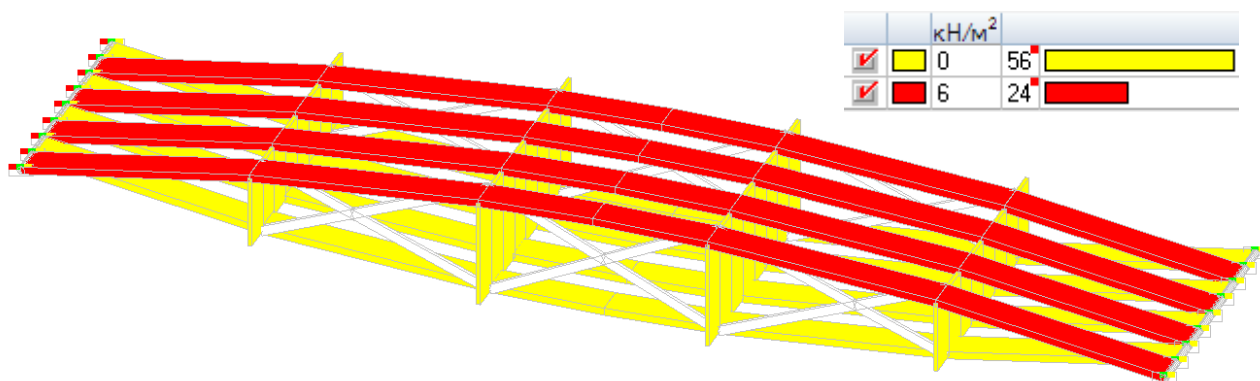


Рисунок 2.1.8 – Карта снеговой нагрузки на элементы (вариант 1), кН/м^2

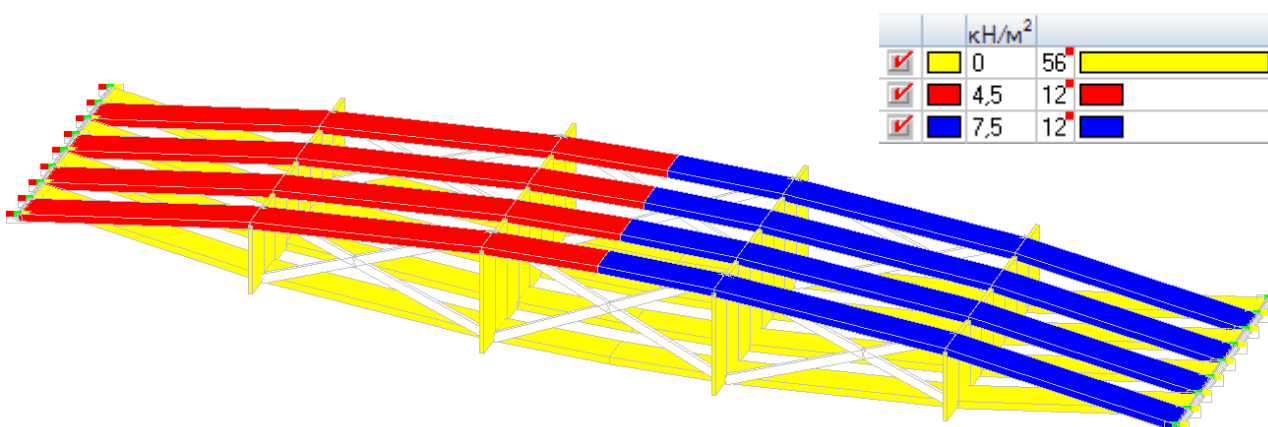


Рисунок 2.1.9 – Карта снеговой нагрузки на элементы (вариант 2), кН/м^2

Параметры и комбинации загрузжений представлены на рисунке 2.1.10 (первая комбинация С1 – при Варианте 1 снеговой нагрузки) и рисунке 2.1.11 (вторая комбинация С2 – при Варианте 2 снеговой нагрузки).

№	Загружения/Комбинации	Коэффициент
1	св	1
2	снег 1	1
3	снег 2	0
4	утепл+покр	1
5	нач напр	1

Запись комбинации

Удаление комбинации

Новая комбинация

Загрузить из файла

Сохранить в файл

Комбинации загрузжений		Название
1	(L1)*1+(L2)*1+(L4)*1+(L5)*1	С1
2	(L1)*1+(L3)*1+(L4)*1+(L5)*1	С2
3	(L1)*1+(L4)*1	св+утепл,покр

Рисунок 2.1.10 - Параметры и комбинации загрузжений для комбинации С1

	Загрузки/Комбинации	Коэффициент	
1	св	1	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Запись комбинации </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Удаление комбинации </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Новая комбинация </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Загрузить из файла </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> Сохранить в файл </div>
2	снег 1	0	
3	снег 2	1	
4	утепл+покр	1	
5	нач напр	1	
6	С1	0	

Комбинации загрузений		
	Комбинации загрузений	Название
1	$(L1)^*1+(L2)^*1+(L4)^*1+(L5)^*1$	С1
2	$(L1)^*1+(L3)^*1+(L4)^*1+(L5)^*1$	С2
3	$(L1)^*1+(L4)^*1$	св+утепл,покр

Рисунок 2.1.11 – Параметры и комбинации загрузений для комбинации С2

2.2 Результаты расчета

Результаты расчета представлены на рис. 2.2.1-2.2.4. Усилия и напряжения вычислены от расчетных нагрузок (по 1-ому предельному состоянию), а перемещения - от нормативных нагрузок (по 2-ому предельному состоянию).

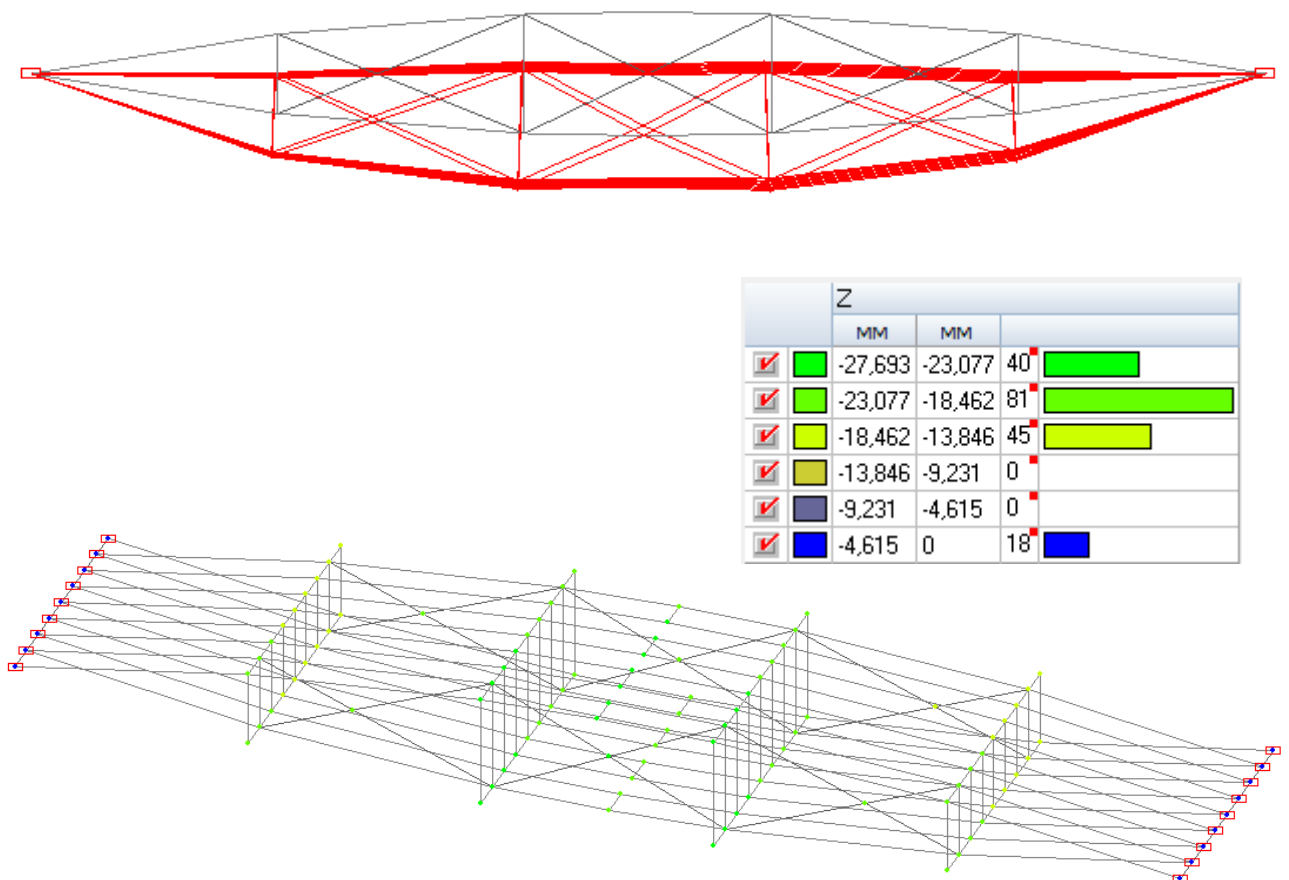


Рисунок 2.2.1 – Деформированная схема и перемещения при комбинации С1

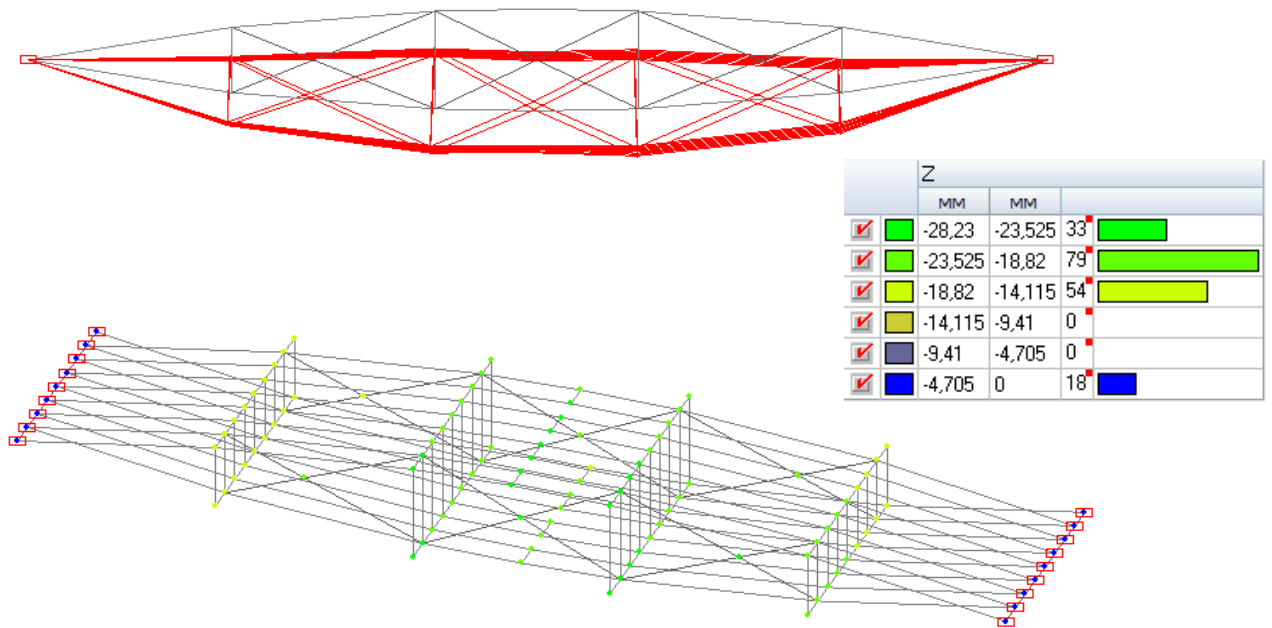


Рисунок 2.2.2 – Деформированная схема и перемещения при комбинации С2

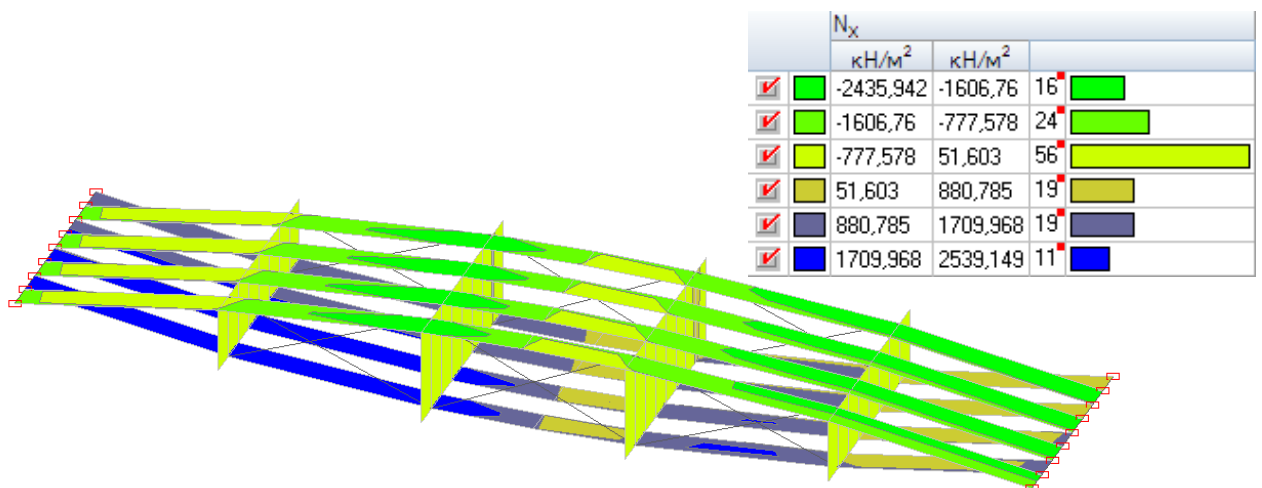


Рисунок 2.2.3 – Поля напряжений при комбинации С1

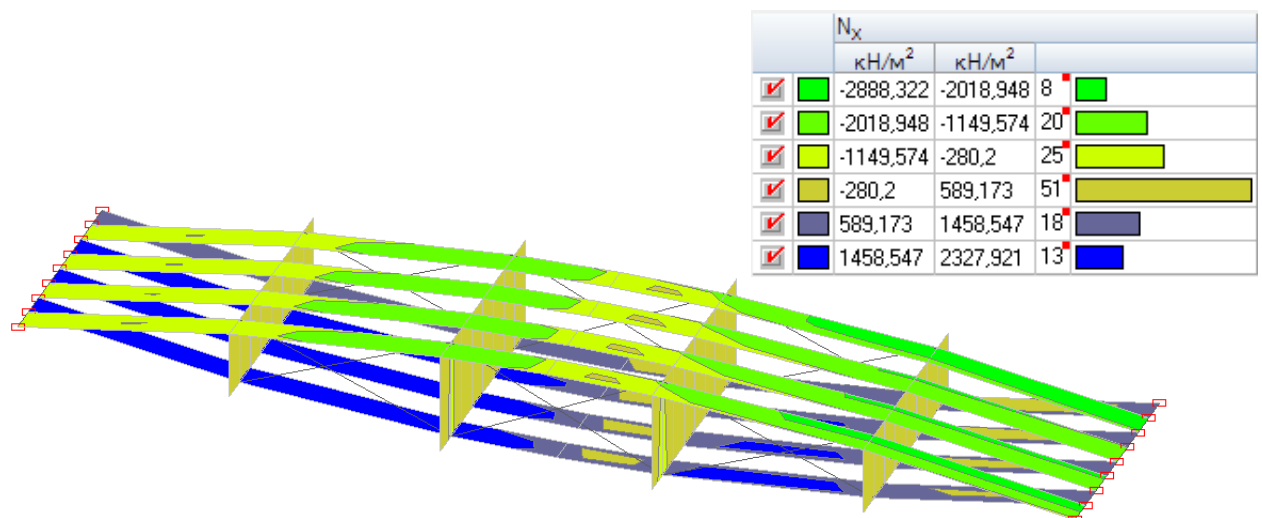


Рисунок 2.2.4 – Поля напряжений при комбинации С2

Информация о массе металлических элементов в плите содержится в таблице 7.

Таблица 7 – Металлоемкость линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов

№ п/п	Наименование элемента	Размеры, марка	Кол-во	Масса 1 шт., кг	Масса общая, кг
1	Поперечная труба в опорных узлах	Труба 40x2,5 мм ГОСТ 10704-91	2	3,24	6,47
2	Гнутые пластины на торцах элементов поясов	Пластина 2x165x223 мм	16	1,096	17,53
3	Болты на торцах элементов поясов	M10x55 ГОСТ 7805-70	64	43,62*	2,79
4	Саморезы для крепления распорок	4,2x70 DIN 7981	64	5,9*	0,38
5	Гнутые пластины для крепления раскосов	Пластина 2x215x60**	24	0,17	4
6	Саморезы для крепления раскосов к гнутым пластинам	4,8x35 DIN 7981	78	4,1*	0,32
7	Болты для крепления гнутых пластин	M6x32 ГОСТ 7805-70	32	9,33*	0,3
8	Гайки для болтов M10	M10 ГОСТ 5915-70	64	10,22*	0,65
9	Гайки для болтов M6	M6 ГОСТ 5915-70	32	2,5*	0,08
10	Гровер-шайбы для болтов M10	M10 ГОСТ 6402-70	64	1,94*	0,12
11	Гровер-шайбы для болтов M6	M6 ГОСТ 6402-70	32	0,56*	0,02
12	Шайбы для болтов M10	M10 ГОСТ 10450-78	64	2,13	0,14
13	Шайбы для болтов M6	M6 ГОСТ 10450-78	32	0,638	0,02
Итого					32,82

Прим.: * - указано значение массы для 1000 шт. элементов; ** - принят усредненный размер пластины.

Масса элементов плиты, задействованных в расчетной схеме, в совокупности с весом утеплителя и покрытия выведена при помощи ПК SCAD суммированием реакций R_{zi} , кг, в опорных узлах расчетной схемы от комбинации СЗ = «св» + «утепл+покр». Реакции R_{zi} представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Реакции в опорных узлах плиты

№	X	Y	Z	Связи	RZ
	м	м	м		кг
24	0	0,165	0	Z	30,32
30	6	0,165	0	Z	29,77
150	6	1,155	0	Z	27,60
144	0	1,155	0	Z	26,45

Окончание таблицы 8

84	0	0,66	0	Z	23,36
85	6	0,66	0	Z	22,19
45	6	0,33	0	Z	20,53
44	0	0,33	0	Z	20,49
124	0	0,99	0	Z	19,39
125	6	0,99	0	Z	18,87
70	6	0,495	0	Z	18,47
64	0	0,495	0	Z	17,30
110	6	0,825	0	Z	17,08
104	0	0,825	0	Z	16,49
9	0	0	0	X,Y,Z	4,07
15	6	0	0	Z	3,70
					Σ316,1

Плита опирается с обеих сторон на деревянные опорные бруски сечением 65x140 мм и длиной 1400 мм, масса обоих брусков равна 11,83 кг (см. табл. «Спецификация элементов», Лист 2 прил. Ж.).

С учетом металлических креплений (вес поперечных труб учтен при расчете в ПК SCAD на комбинацию С3) общая масса плиты составит

$$m_{плиты} = 316,1 + (32,82 - 6,474) + 11,83 = 354,25 \text{ кг.}$$

2.3 Проверка устойчивости, жесткости и прочности конструкции

Проверка устойчивости верхнего пояса

Выполним расчет сжато-изогнутого элемента верхнего пояса на устойчивость в плоскости действия равномерно-распределенной нагрузки. Расчет сжато-изогнутых элементов постоянного цельного сечения на устойчивость выполняется по формуле

$$\frac{N_c}{\varphi R_c F_{\delta p}} + \left(\frac{M_D}{\varphi_M R_{II} W_{\delta p}} \right)^n \leq 1, \quad (2.3.1)$$

где $F_{\delta p}$ – площадь поперечного сечения элемента брутто, m^2 , определяется по формуле:

$$F_{\delta p} = t_{\delta} \cdot b_{\delta}, \quad (2.3.2)$$

где $t_{\delta} = h$ – высота сечения элемента, м;

b_{δ} – ширина сечения элемента, м;

N_c – расчетное сжимающее усилие, кН, определяется по формуле

$$N_c = N_{xc} \cdot F_{\delta p}, \quad (2.3.3)$$

где N_{xc} - максимальное сжимающее усилие в верхнем поясе, $кН/м^2$ (рис. 2.2.4) – усилие, выдаваемое SCAD-ом как распределенное на площадь сечения элемента (заданного как КЭ оболочки);

R_c – расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон, в соответствии с [8] определяется по формуле:

$$R_c = R_c^A \cdot m_{dl} \cdot \prod m_i, \quad (2.3.4)$$

где R_c^A – расчетное сопротивление древесины влажностью 12 % в сооружениях 2-ого класса функционального назначения (прил. А [8]) при сроке эксплуатации не более 50 лет сжатию вдоль волокон элемента прямоугольного сечения высотой не более 50 см, для древесины 2-ого сорта $R_c^A = 19,5 МПа$;

m_{dl} – коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения (примем режим А по табл. 4 [8]), $m_{dl} = 1$;

$\prod m_i$ – произведение коэффициентов условий работы, $\prod m_i = 1$ (с учетом коэффициента условий работы гнутых элементов конструкций при отношении радиуса кривизны к толщине, равной $r / t_d = 15150 / 40 = 378,75 мм m_{zn} = 1$);

R_{II} - расчетное сопротивление древесины 2-ого сорта изгибу, $кПа$, определяется по формуле:

$$R_{II} = R_{II}^A \cdot m_{dl} \cdot \prod m_i, \quad (2.3.5)$$

где R_{II}^A – расчетное сопротивление древесины изгибу элемента прямоугольного сечения, для древесины 2-ого сорта $R_{II}^A = 19,5 МПа$;

m_{dl} – то же, что в формуле (2.3.4);

$\prod m_i$ – то же, что в формуле (2.3.4);

$n = 2$ - для элементов без закрепления растянутой зоны из плоскости деформирования;

W_{op} - момент сопротивления сечения брутто, $мм^3$, определяется по формуле

$$W_{op} = \frac{b_d t_d^2}{6}, \quad (2.3.6)$$

где t_d – то же, что в формуле (2.3.2);

b_d – то же, что в формуле (2.3.2).

$$W_{op} = \frac{b_d t_d^2}{6} = \frac{0,165 \cdot 0,04^2}{6} = 0,000044 м^3.$$

Момент M_D , $кНм$, определяется по формуле

$$M_D = \frac{M}{\xi}, \quad (2.3.7)$$

где M – расчетный изгибающий момент в сечении, $кНм$, определяется по формуле

$$M = M_y \cdot b_o, \quad (2.3.8)$$

где M_y - максимальный изгибающий момент в верхнем поясе, $кНм/м$ (рис. 2.3.1), выдаваемый SCAD-ом как распределенный на ширину сечения элемента (заданного как КЭ оболочки);

ξ – коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, определяется по формуле:

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi R_c F_{\bar{\sigma}p}}; \quad (2.3.9)$$

где N_c – то же, что в формуле (2.3.1);

R_c – то же, что в формуле (2.3.1);

$F_{\bar{\sigma}p}$ – то же, что в формуле (2.3.1);

φ – коэффициент продольного изгиба, определяется по формуле

$$\varphi = 1 - a \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \text{ при } \lambda \leq 70 \quad (2.3.10)$$

или

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} \text{ при } \lambda > 70 \quad (2.3.11)$$

где $a = 0,8$ и $A = 3000$ для древесины;

λ – гибкость элемента, определяемая по формуле

$$\lambda = \frac{l_p \cdot \mu_0}{r}, \quad (2.3.12)$$

где μ_0 – коэффициент для определения расчетной длины элемента, загруженного продольными силами по концам, принимаемый равным 0,65 при действии двух продольных сил на жестко защемленных торцах;

l_p – свободная длина элемента (расстояние между распорками), м;
 r – радиус инерции, м, определяемый по формуле

$$r = \sqrt{\frac{J}{F}}, \quad (2.3.13)$$

где J – то же, что в формуле (2.1.1), м⁴;

$F_{\text{оп}}$ – то же, что в формуле (2.3.1);

φ_M – коэффициент для изгибаемых элементов прямоугольного постоянного поперечного сечения, определяемый по формуле:

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi, \quad (2.3.14)$$

где l_p – то же, что в формуле (2.3.12);

$h = t_\delta$ – то же, что в формуле (2.3.2);

k_ϕ – коэффициент, зависящий от эпюры изгибающих моментов на участке l_p , определяемый по [8, табл. Е.1] (рис. 2.3.2-2.3.4).

$$F_{\text{оп}} = t_\delta \cdot b_\delta = 0,04 \cdot 0,165 = 0,0066 \text{ м}^2.$$

$$N_c = N_{xc} \cdot F_{\text{оп}} = 2888,322 \cdot 0,0066 = 19,06 \text{ кН}.$$

$$R_c = R_c^A m_{\text{ол}} \cdot \Pi m_i / \gamma_m = 19,5 \cdot 1 \cdot 1 = 19,5 \text{ МПа}.$$

$$R_{II} = R_{II}^A m_{\text{ол}} \cdot \Pi m_i = 19,5 \cdot 1 \cdot 1 = 19,5 \text{ МПа}.$$

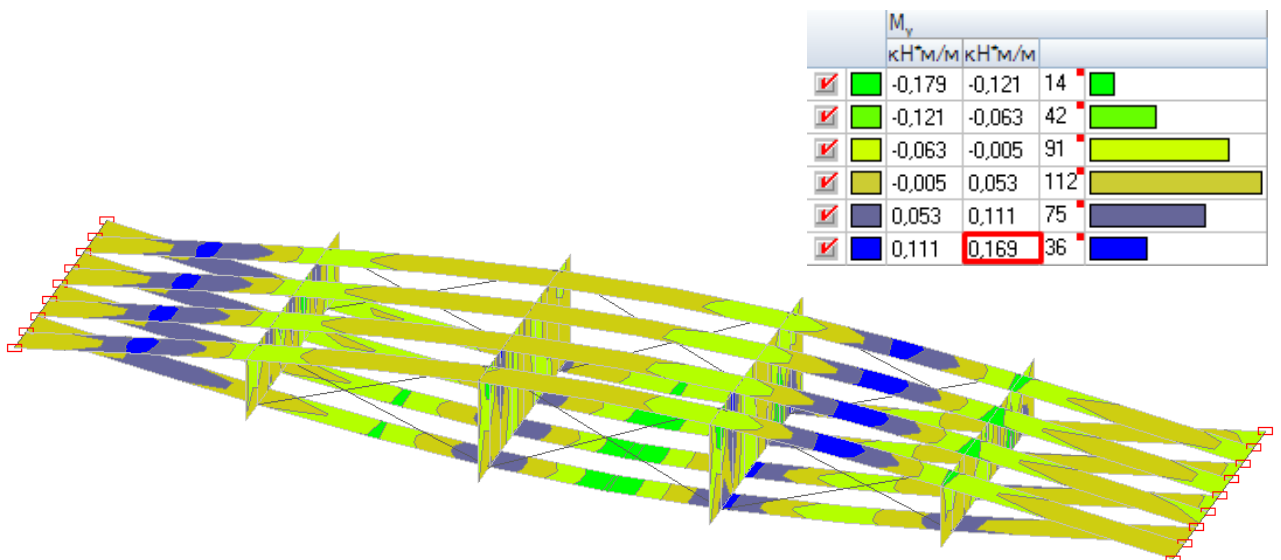


Рисунок 2.3.1 – Поля M_y от комбинации С2, кНм/м

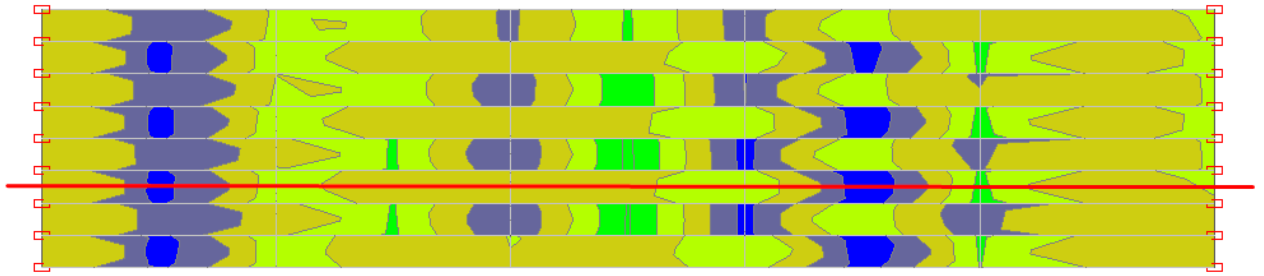


Рисунок 2.3.2 – Поля M_y от комбинации С2, $кНм/м$, вид сверху, и секущая для построения эпюр напряжений вдоль нее

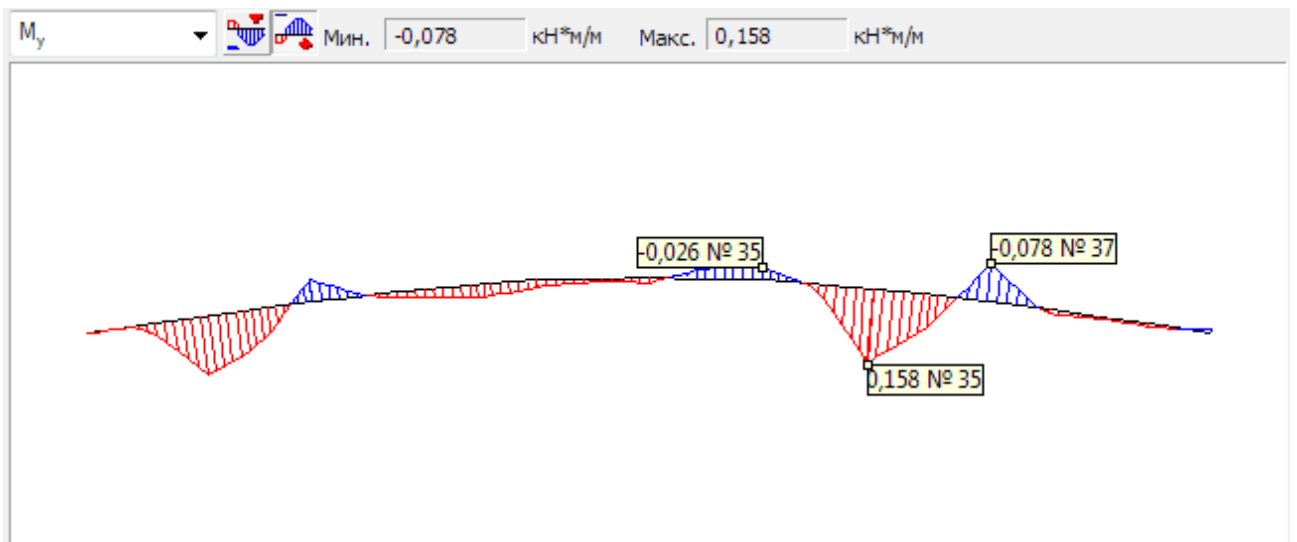


Рисунок 2.3.3 – Эпюры M_y от комбинации С2, $кНм/м$, вдоль секущей

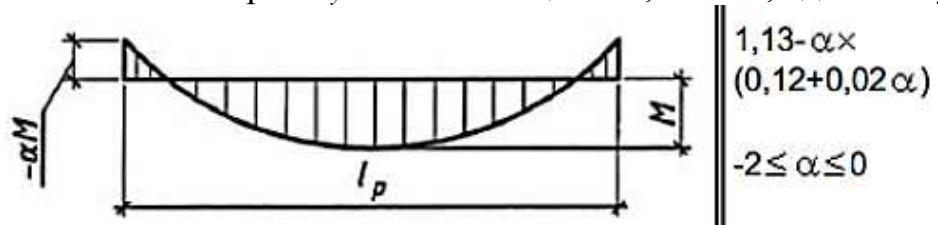


Рисунок 2.3.4 – Значение коэффициента k_φ при закреплении только по концам участка l_p

$$r = \sqrt{\frac{J}{F}} = \sqrt{\frac{0,00000088}{0,0066}} = 0,012 \text{ м.}$$

$$\lambda = \frac{l \cdot \mu_0}{r} = \frac{1,2 \cdot 0,65}{0,012} = 67,55.$$

$$\varphi = 1 - a \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left(\frac{67,55}{100} \right)^2 = 0,635.$$

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi R_c F_{\text{оп}}} = 1 - \frac{19,06}{0,635 \cdot 19500 \cdot 0,0066} = 0,233.$$

$$M = M_y \cdot b_\delta = 0,169 \cdot 0,165 = 0,0525 \text{ кНм.}$$

$$M_{\text{д}} = \frac{M}{\xi} = \frac{0,0525}{0,233} = 0,225 \text{ кНм.}$$

$$k_\phi = 1,13 - \alpha \cdot (0,12 + 0,02\alpha) = 1,13 + 0,165 \cdot (0,12 - 0,02 \cdot 0,165) = 1,15,$$

где $\alpha = -\frac{0,026}{0,158} = -0,165$ [8, табл. Е.1].

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi = 140 \cdot \frac{0,165^2}{1,2 \cdot 0,04} \cdot 1,15 = 91,19.$$

$$W_{\text{оп}} = \frac{t_\delta^2 b_\delta}{6} = \frac{0,04^2 \cdot 0,165}{6} = 0,000044 \text{ м}^3.$$

$$\frac{N_c}{\varphi R_c F_{\text{оп}}} + \left(\frac{M_{\text{д}}}{\varphi_M R_H W_{\text{оп}}} \right)^n = \frac{19,06}{0,635 \cdot 19500 \cdot 0,0066} + \left(\frac{0,225}{91,12 \cdot 19500 \cdot 0,000044} \right)^2 = 0,233 < 1 \Rightarrow$$

\Rightarrow устойчивость сжатого элемента верхнего пояса обеспечена. Запас устойчивости составляет 77 %.

Проверка жесткости

В соответствии с [7, табл. Д.1], предельные вертикальные прогибы плит покрытий, открытых для обзора, регламентируются эстетико-психологическими требованиями. При пролете $l = 6 \text{ м}$ предельный прогиб равен

$$[f] = \frac{l}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ мм.}$$

Условие жесткости выглядит следующим образом:

$$Z_{\text{max}} \leq [f], \tag{2.3.15}$$

где $[f]$ – предельный прогиб, мм;

Z_{max} – максимальные перемещения от нормативной нагрузки, мм.

$Z_{\max} = 28,23 \text{ мм} < [f] = 30 \text{ мм} \Rightarrow$ жесткость плиты обеспечена. Запас жесткости равен 6 %.

Проверка прочности верхнего пояса по нормальным напряжениям σ_x

Расчет сжато-изгибаемых элементов верхнего пояса по 1-ому предельному состоянию выполняем по формуле

$$\frac{N_c}{F_{расч}} + \frac{M_D}{W_{расч}} \leq R_c \quad (2.3.16)$$

где N_c – то же, что в формуле (2.3.1);

$F_{расч} = F_{бр}$ – то же, что в формуле (2.3.1);

M_D – то же, что в формуле (2.3.1);

$W_{расч}$ – то же, что в формуле (2.3.1);

R_c – то же, что в формуле (2.3.1), *кПа*.

$$\frac{N_c}{F_{расч}} + \frac{M_D}{W_{расч}} = \frac{19,06}{0,0066} + \frac{0,225}{0,000044} = 8002 \text{ кПа} = 8 \text{ МПа} < R_c = 19,5 \text{ МПа} \Rightarrow$$

\Rightarrow прочность по нормальным напряжениям обеспечена. Запас прочности составляет 59 %.

Проверка прочности нижнего пояса

Расчет растянуто-изгибаемых элементов нижнего пояса по 1-ому предельному состоянию выполняем по формуле

$$\frac{N_p}{F_{расч}} + \frac{M_D R_p}{W_{расч} R_{II}} \leq R_p, \quad (2.3.17)$$

где N_p – расчетное растягивающее усилие, *кН*, определяется по формуле

$$N_p = N_{xp} \cdot F_{бр}, \quad (2.3.18)$$

где N_{xp} – максимальное растягивающее усилие в верхнем поясе, *кН/м²* (рис. 2.2.4) – усилие, выдаваемое SCAD-ом как распределенное на площадь сечения элемента (заданного как КЭ оболочки);

$F_{расч} = F_{бр}$ – то же, что в формуле (2.3.1);

M_D – то же, что в формуле (2.3.1), для нижнего пояса (рис. 2.3.1);

$W_{расч}$ – то же, что в формуле (2.3.1);

R_{II} – то же, что в формуле (2.3.1);

R_p - расчетное сопротивление древесины 2-ого сорта растяжению вдоль волокон, $кПа$, определяется по формуле:

$$R_p = R_p^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i, , \quad (2.3.19)$$

где R_p^A – расчетное сопротивление древесины элемента прямоугольного сечения растяжению, для древесины 2-ого сорта $R_{II}^A = 10,5 \text{ МПа}$;

$m_{\text{дл}}$ – то же, что в формуле (7);

$\Pi m_i = 0,903$ при растяжении (с учетом коэффициента условий работы гнутых элементов конструкций при отношении радиуса кривизны к толщине, равном $r / t_{\text{д}} = 15150 / 40 = 378,75 \text{ мм}$ $m_{\text{гн}} = 0,903$).

$$N_p = N_{\text{сп}} \cdot F_{\text{сп}} = 2327,921 \cdot 0,0066 = 15,364 \text{ кН}.$$

$$R_p = R_p^A m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i = 10,5 \cdot 1 \cdot 0,903 = 9,4815 \text{ МПа}.$$

$$\xi = 1 - \frac{N_p}{\varphi R_p F_{\text{сп}}} = 1 - \frac{15,364}{0,635 \cdot 9481,5 \cdot 0,0066} = 0,613.$$

$$M = M_y \cdot b_{\text{д}} = 0,179 \cdot 0,165 = 0,03 \text{ кНм}.$$

$$M_{\text{д}} = \frac{M}{\xi} = \frac{0,03}{0,613} = 0,048 \text{ кНм}.$$

$$\frac{N_p}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_{\text{д}} R_p}{W_{\text{расч}} R_{II}} = \frac{15,364}{0,0066} + \frac{0,048 \cdot 9,4815}{0,000044 \cdot 19,5} = 2858 \text{ кПа} = 2,86 \text{ МПа} < R_p = 9,48 \text{ МПа}$$

⇒ прочность по нормальным напряжениям обеспечена. Запас прочности составляет 70 %.

2.4 Подбор оптимальной толщины сечения элементов поясов

Как правило, сечение элементов конструкции определяют исходя из условия прочности (см. формулы (2.3.16) и (2.3.17)). Однако, как видно из п. 2.3, для линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов определяющей становится проверка на жесткость: при принятой толщине $t_{\text{д}} = 40 \text{ мм}$ и действии наименее выгодной комбинации с односторонней снеговой нагрузкой (С2) наименьшим запасом обладает жесткость плиты. Следовательно, подбор сечения следует производить исходя из условия жесткости. На жесткость плиты оказывают влияние следующие факторы:

- Толщина элементов поясов;
- Начальный выгиб поясов;

- Количество стоек-распорок;
- Установка вертикальных связей.

В дипломной работе проанализированы различные случаи действия указанных факторов и выявлен наиболее оптимальный вариант их сочетания.

Зададимся исходной шириной элемента пояса $b_0 = 165$ мм и начальным выгибом $f_0 = 300$ мм. При определении оптимальной толщины элементов поясов необходимо оценивать возможность элемента плиты прогнуться на начальный выгиб, не сломавшись. Кроме того, изначально выгнутый элемент также прогибается под постоянной нагрузкой и нагрузкой от снега; необходимо предусмотреть максимальную величину прогиба $[f]=30$ мм за вычетом необходимого запаса прочности, равного 5-10 %. Отсюда суммарный прогиб элемента, исходя из которого следует определять его максимальную толщину, равен

$$f' = f_0 + [f] \cdot \frac{(100 - 5)}{100} = 300 + 30 \cdot 0,95 = 328,5 \text{ мм.}$$

Определим максимальную толщину элемента, при которой элемент прогнется на найденную величину f' , не сломавшись, т.е. не потеряет прочность при изгибе. Расчетная схема изогнутого элемента пояса представляет собой шарнирно-опертую балку с модулем упругости $E = 10000$ МПа, длиной $l = 6000$ мм, шириной $b_0 = 165$ мм и толщиной t_0 , на которую действует равномерно-распределенная нагрузка q . Чтобы найти максимальную толщину элемента, способного прогнуться на f' , необходимо использовать условие прочности при изгибе, выразить из этого условия нагрузку q и подставить в формулу максимального прогиба, а затем выразить и найти максимальную толщину t_0 .

Условие прочности при изгибе выглядит следующим образом:

$$\frac{M_{\max}}{W} \leq R_H, \quad (2.4.2)$$

где R_H – то же, что в формуле (2.3.1), $H/мм^2$,

$W = W_{0p}$ – то же, что в формуле (2.3.1), $мм^3$,

M_{\max} – максимальный момент, возникающий в балке, $кН\cdot м$.

При равномерно-распределенной нагрузке M_{\max} определяется по формуле

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8}, \quad (2.4.3)$$

где q – максимальное значение равномерно-распределенной нагрузки, при которой балка разрушится, $кН/м$.

Подставим формулы (2.3.6) и (2.4.3) в (2.4.2) и выразим q :

$$q \leq \frac{8R_{II}b_{\delta}t_{\delta}^2}{6l^2}. \quad (2.4.4)$$

Подставим (2.4.4) и (2.1.3) в (2.1.1) и выразим t_{δ} :

$$t_{\delta} \leq \frac{5l^2R_{II}}{24Ef'}. \quad (2.4.5)$$

$$t_{\delta} \leq \frac{5l^2R_{II}}{24Ef'} = \frac{5 \cdot 6000^2 \cdot 19,5}{24 \cdot 10000 \cdot 327,9} = 44,5 \text{ мм} = t_{\delta \max} \quad - \text{максимальная толщина, при}$$

которой элементы поясов заданной прочности и длиной $l = 6 \text{ м}$ смогут прогнуться на суммарный прогиб $f' = 327,9 \text{ мм}$ и не сломаться. Следовательно, при назначении толщины элементов необходимо следить за тем, чтобы $t_{\delta} < t_{\delta \max}$.

Принятая толщина элементов поясов плиты (п. 1.2.2) $t_{\delta} = 40 \text{ мм}$ удовлетворяет условию жесткости с максимальным прогибом при наименее благоприятной комбинации нагрузок С2, равным $f_{\max} = -28,23 \text{ мм} < [f] = 30 \text{ мм}$.

Запас жесткости равен $\frac{(30 - 28,23)}{30} \cdot 100\% = 6\%$.

Проведем исследование влияния толщины элементов поясов плиты на общую жесткость. Воспользуемся методом подбора: изменяя толщину элемента с определенным шагом, выполним перерасчет схемы в ПК SCAD и найдем толщину, при которой максимальные перемещения от наименее выгодной комбинации нагрузок С2 в результатах расчета будут удовлетворять условию жесткости. Необходимо учесть, что при изменении толщины будут также изменяться начальные напряжения от начального выгиба (в соответствии с формулой (2.1.1) п. 2.1). Назначим шаг изменения толщины $\Delta t = -1,5 \text{ мм}$ (уменьшение толщины начиная от максимального значения $t_{\delta \max}$). Сравнение полученных значений максимальных перемещений и предельного прогиба представлено в таблице 9. График зависимости представлен на рис. 2.4.1.

Таблица 9 – Зависимость максимальных перемещений Z_{\max} , мм, и запаса жесткости от толщины t_{δ} , мм

Толщина элемента пояса t_{δ} , мм	Начальные напряжения q_0 , кН/м ²	Максимальные перемещения Z_{\max} , мм	Предельный прогиб $[f]$, мм	Запас жесткости, %
44,5	1,305	-24,608	-30	18
43	1,178	-25,727	-30	14
41,5	1,059	-26,931	-30	10
40	0,948	-28,23	-30	6
38,5	0,845	-29,639	-30	1
37	0,75	-31,172	-30	-4

Как видно из таблицы и графика, оптимальной является толщина $t_{\delta} = 40$ мм. При этой толщине запас жесткости положительный и лежит в необходимых пределах (5-10 %). Доски такой толщины соответствуют ГОСТ 8486-86 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия».

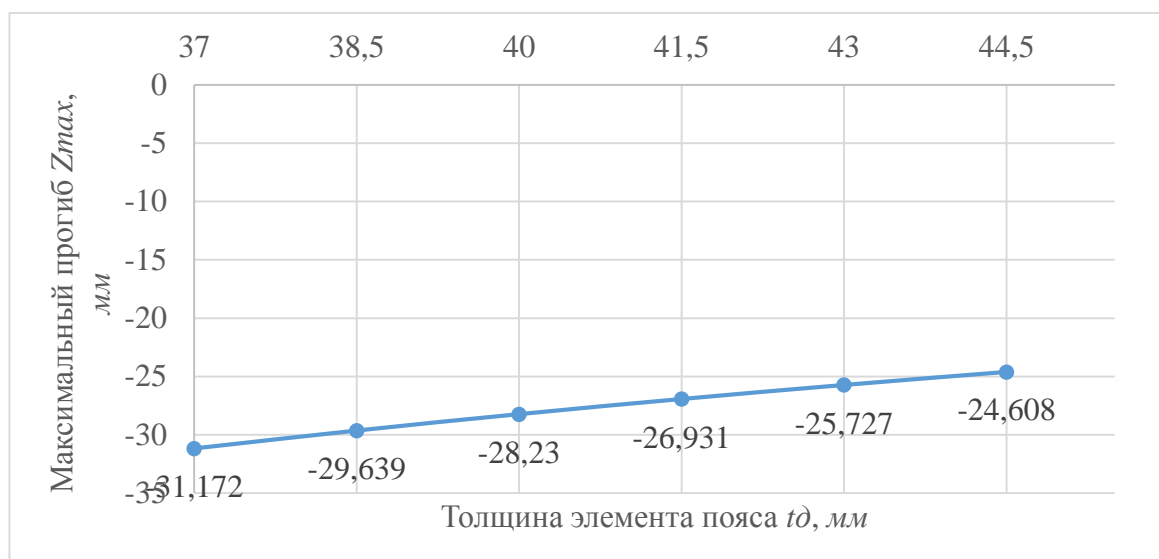


Рисунок 2.4.1 - Зависимость максимальных перемещений Z_{max} , мм, от толщины t_{δ} , мм

2.5 Подбор оптимального начального выгиба элементов поясов

Найдем максимальный прогиб, на который способна прогнуться доска толщиной $t_{\delta} = 40$ мм, выразив его из формулы (2.4.5):

$$f_{\max} \leq \frac{5l^2 R_{II}}{24Et_{\delta}}. \quad (2.5.2)$$

$$f_{\max} \leq \frac{5l^2 R_{II}}{24Et_{\delta}} = \frac{5 \cdot 6000^2 \cdot 19,5}{24 \cdot 10000 \cdot 40} = 365,63 \text{ мм} \quad - \quad \text{максимальный прогиб доски}$$

толщиной $t_{\delta} = 40$ мм, по достижении которого доска сломается. Результаты расчета (п. 2.2) показали, что при принятом начальном выгибе $f_0 = 300$ мм элементы пояса прогнулись на $|Z_{max}| = 28,23$ мм, то есть суммарный прогиб $f_{\text{сум}} = f_0 + Z_{max} = 300 + 28,23 = 328,23 \text{ мм} < f_{\max} = 365,63 \text{ мм} \Rightarrow$ элементы поясов плиты не сломаются как при начальном выгибе, так и при прогибе от наименее выгодной комбинации нагрузок С2.

Проведем исследование плиты, меняя начальный выгиб элементов поясов плиты f_0 , мм. С изменением начального выгиба будут меняться и начальные напряжения в элементах поясов плиты по аналогии с п. 2.4 (в соответствии с формулой (2.1.1) п. 2.1). Назначим шаг изменения начального выгиба $\Delta f_0 = 50$ мм и выполним перерасчет каждого варианта в ПК SCAD. Сравнение

полученных значений максимальных перемещений и предельного прогиба представлено в таблице 10. График зависимости представлен на рис. 2.5.1.

Таблица 10 – Зависимость максимальных перемещений Z_{max} , мм, и запаса жесткости от начального выгиба f_0 , мм

Начальный выгиб элементов поясов f_0 , мм	Начальные напряжения q_0 , кН/м ²	Максимальные перемещения Z_{max} , мм	Предельный прогиб $[f]$, мм	Запас жесткости, %	Суммарный прогиб $f_{сум}$, мм	Максимальный прогиб f_{max} , мм
250	0,79	-39,476	30	-32	-289,48	-365,625
275	0,869	-33,128		-10	-308,13	
300	0,948	-28,23		6	-328,23	
325	1,027	-24,373		19	-349,37	
350	1,106	-21,28		29	-371,28	

Как видно из таблицы и графика, оптимальным является значение начального выгиба, равное 300 мм. Конструкция с таким начальным выгибом имеет одинаковый запас жесткости. Меньшие значения начальных выгибов не обеспечивают жесткость при действии нагрузки (максимальные перемещения Z_{max} больше предельного прогиба $[f]$ по абсолютному значению). Конструкция с начальным выгибом поясов, равным 325 мм, обладает большим запасом прочности, следовательно, проектирование конструкции с таким выгибом повлечет перерасход материала. Элементы поясов с большими значениями начального выгиба сломаются от нагрузки, так как суммарный прогиб $f_{сум}$ в этом случае будет больше максимального прогиба f_{max} , на который способен прогнуться элемент пояса. Для дальнейшего исследования примем начальный выгиб досок равным $f_0 = 300$ мм.

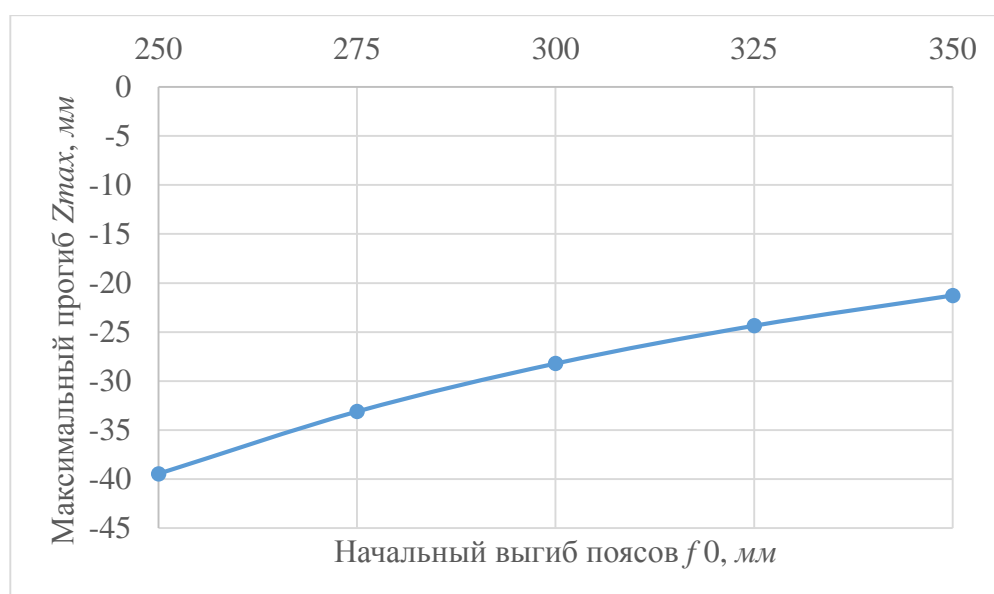


Рисунок 2.5.1 - Зависимость максимальных перемещений Z_{max} , мм, от начального выгиба f_0 , мм

2.6 Подбор оптимального количества стоек

Очевидно, что постановка дополнительных стоек между верхним и нижним поясами плиты увеличивает жесткость всей конструкции, и чем больше стоек, тем меньше максимальные вертикальные перемещения. Во избежание перерасхода материалов следует проанализировать влияние количества стоек на общую жесткость конструкции при постоянной толщине поясов и их начальном выгибе.

Выполним расчет в ПК SCAD, задав несколько расчетных схем с количеством стоек от 2 до 5 (рис. 2.6.1).

Результаты расчета с деформированной схемой и указанием вертикальных перемещений по Z , мм, при действии наименее благоприятной комбинации нагрузок С2 представлены на рис. 2.6.2-2.6.5. График зависимости максимальных вертикальных перемещений от количества стоек представлен на рис. 2.6.6.

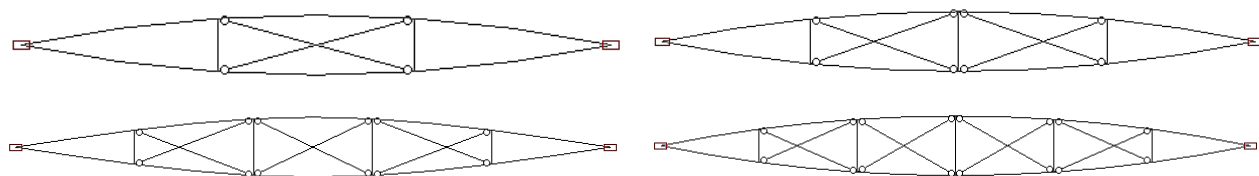


Рисунок 2.6.1 – Расчетные схемы с количеством стоек от 2 до 5 (вид сбоку)

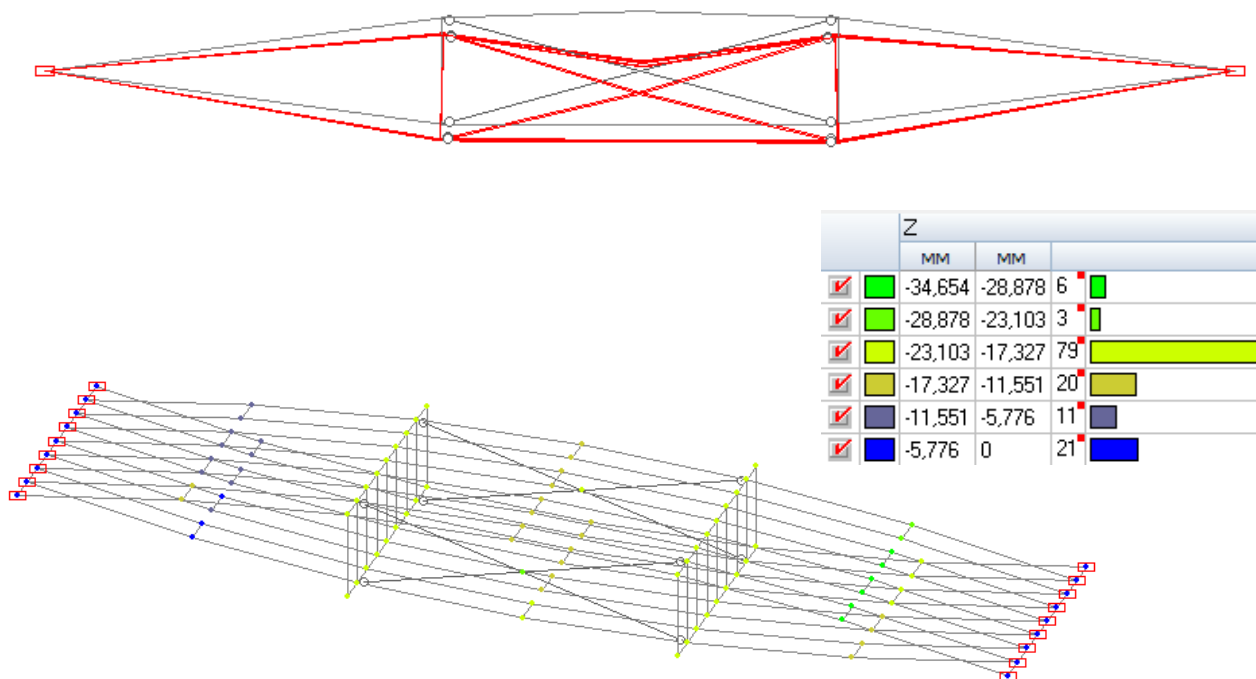


Рисунок 2.6.2 – Максимальные перемещения по Z , мм, от комбинации С2 в плите с количеством стоек, равным 2

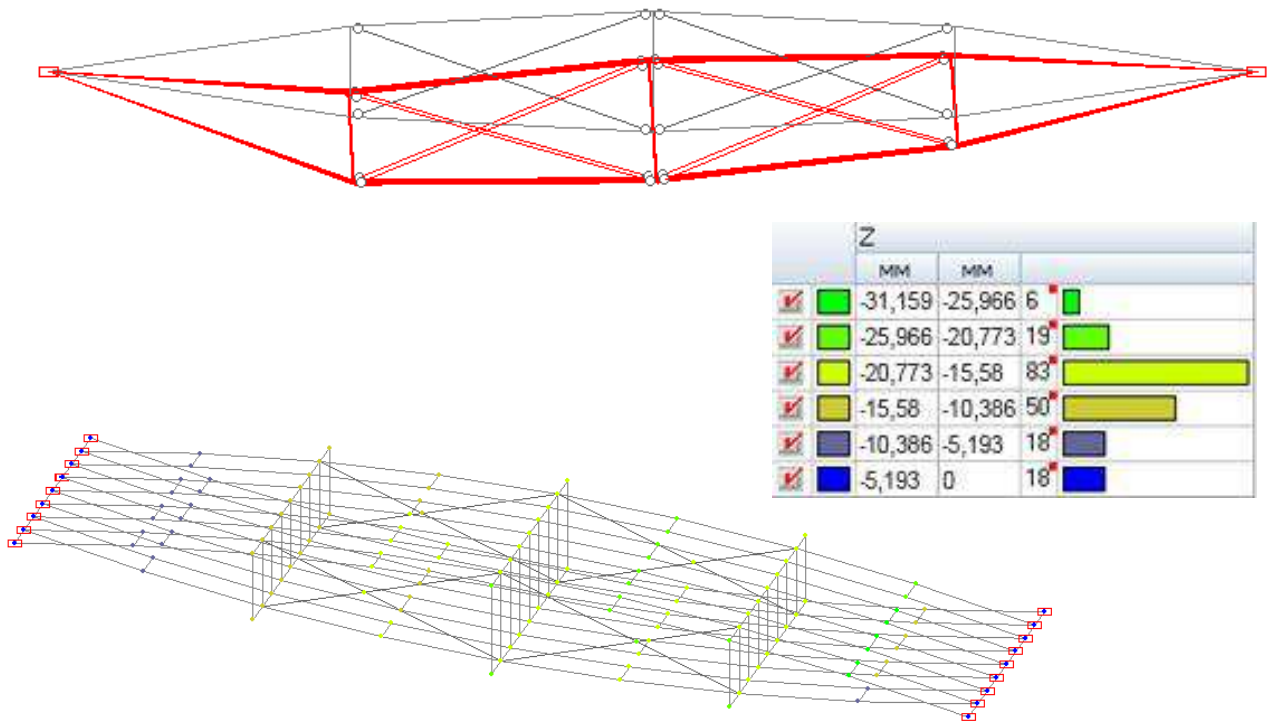


Рисунок 2.6.3 – Максимальные перемещения по Z, мм, от комбинации С2 в плите с количеством стоек, равным 3

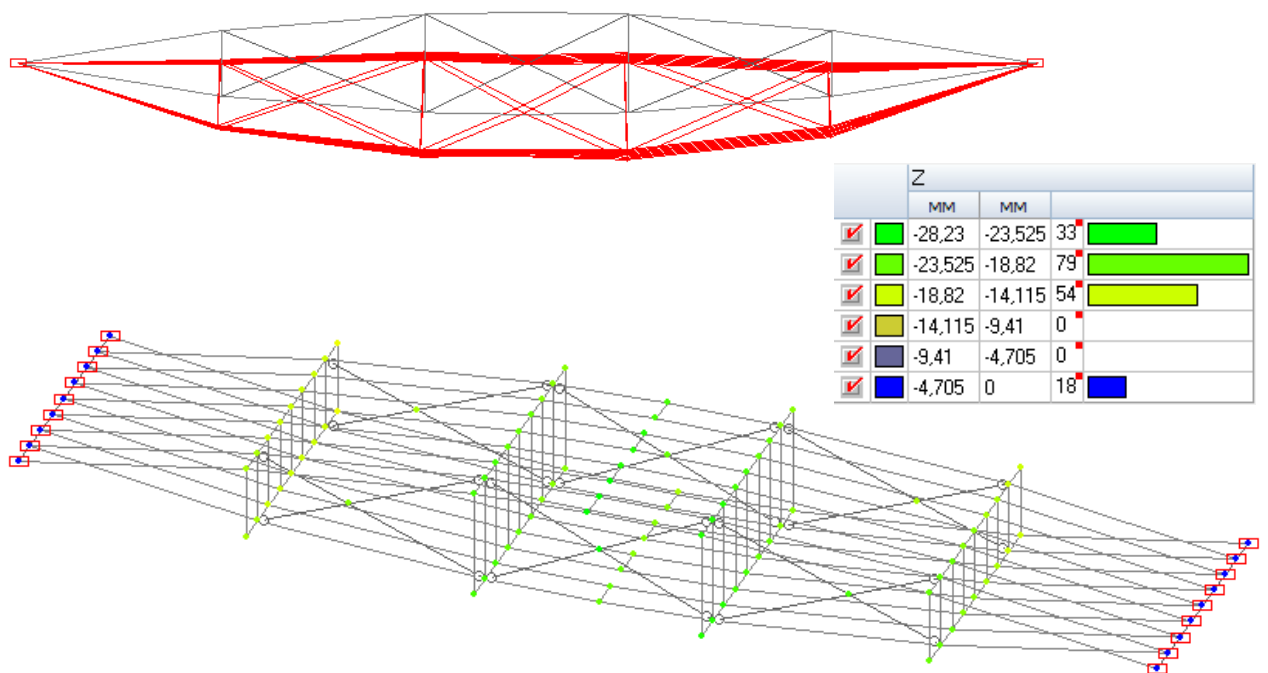


Рисунок 2.6.4 – Максимальные перемещения по Z, мм, от комбинации С2 в плите с количеством стоек, равным 4

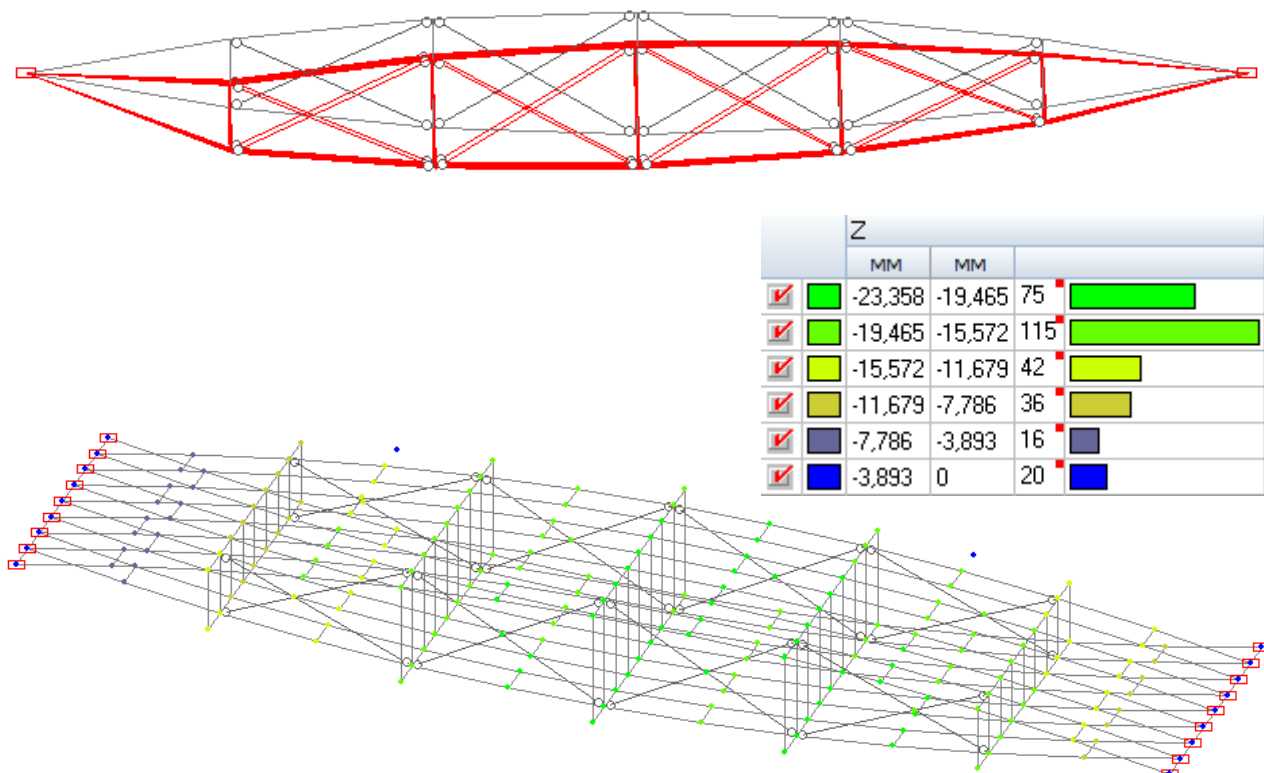


Рисунок 2.6.5 – Максимальные перемещения по Z, мм, от комбинации С2 в плите с количеством стоек, равным 5

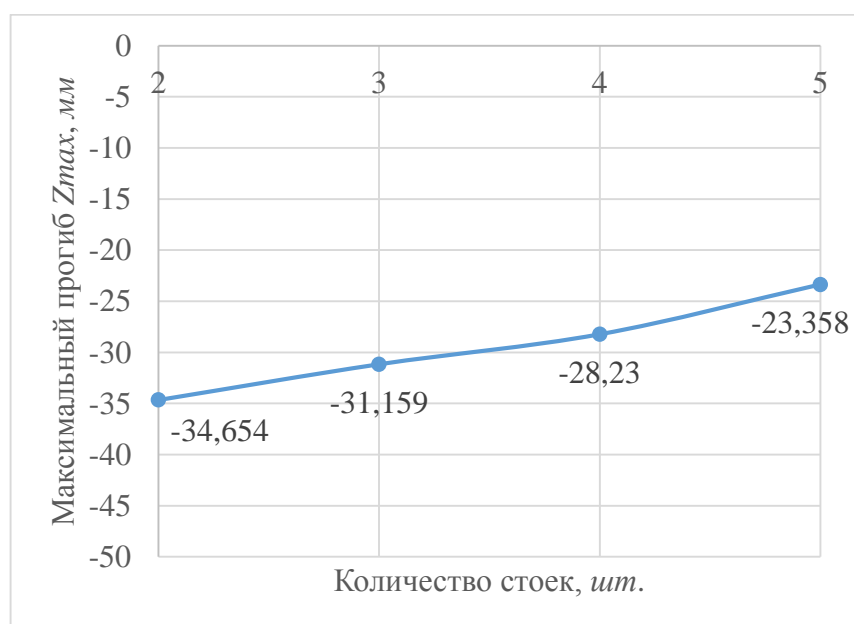


Рисунок 2.6.6 - Зависимость максимальных перемещений Z_{max} , мм, от количества стоек, шт.

По графику видно, что наиболее оптимальным при толщине поясов $t_d = 40$ мм и их начальном выгибе $f_0 = 300$ мм является количество стоек, равное 4, так как при двух и трех стойках максимальный прогиб больше предельного, а при пяти стойках слишком большой запас жесткости (22 %) и идет перерасход материалов.

2.7 Выбор рационального варианта постановки связей

Проанализируем влияние различных вариантов постановки связей на общую жесткость плиты. Примем следующие варианты (см. рис. 2.7.1):

- Вариант 1: расположение крестовых связей в 3-ем секторе (см. рис. 2.1.1) в середине плиты;
- Вариант 2: расположение крестовых связей во 2-ом и 4-ом секторах в середине плиты;
- Вариант 3: расположение крестовых связей во 2-ом, 3-ем и 4-ом секторах в середине плиты;
- Вариант 4: расположение крестовых связей во 2-ом, 3-ем и 4-ом секторах на боковых поверхностях плиты;
- Вариант 5: расположение пространственных крестовых (в плане и на виде спереди) связей во 2-ом, 3-ем и 4-ом секторах.

На рис. 2.7.1 представлены схемы расположения различных вариантов связей на виде спереди и сверху.

Результаты расчетов по всем вариантам представлены на рис. 2.7.2-2.7.6 и в табл. 12. Критерий – максимальные вертикальные перемещения по самой неблагоприятной комбинации С2 (с односторонней снеговой нагрузкой).

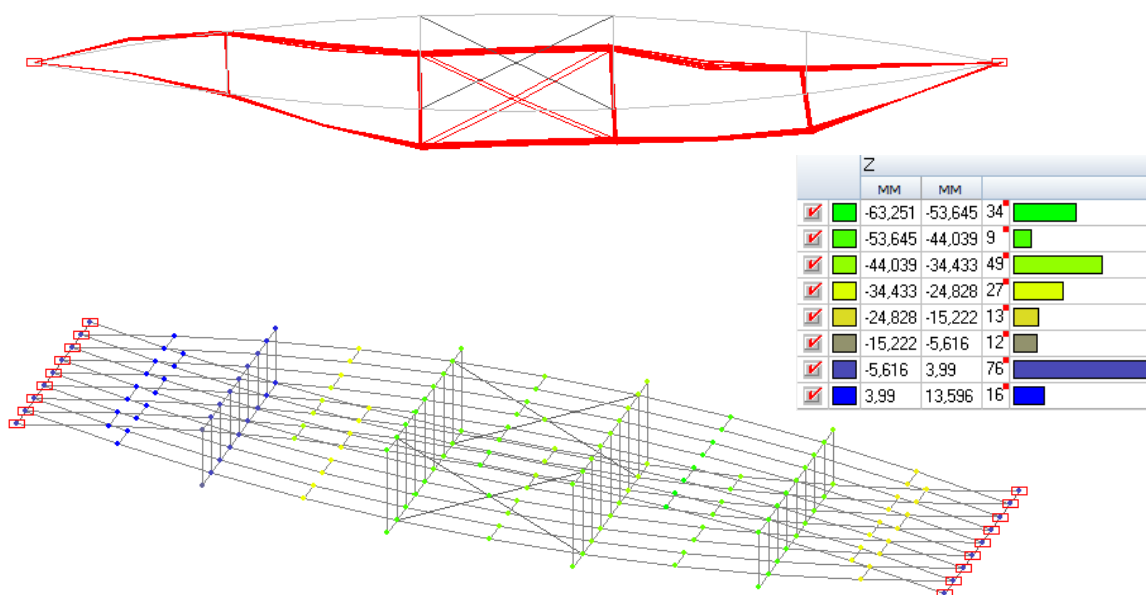


Рисунок 2.7.2 – Деформированная схема и вертикальные перемещения по Z, мм, при комбинации С2 для Варианта 1 расположения связей

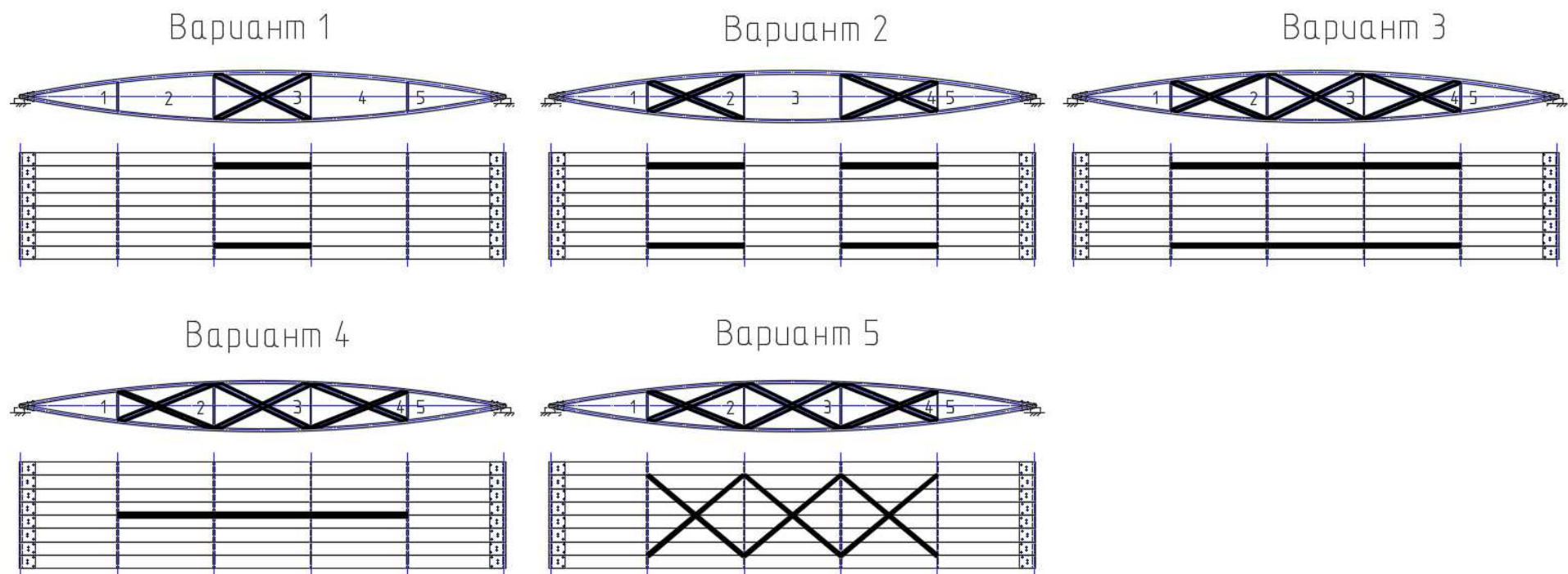


Рисунок 2.7.1 – Схемы расположения связей

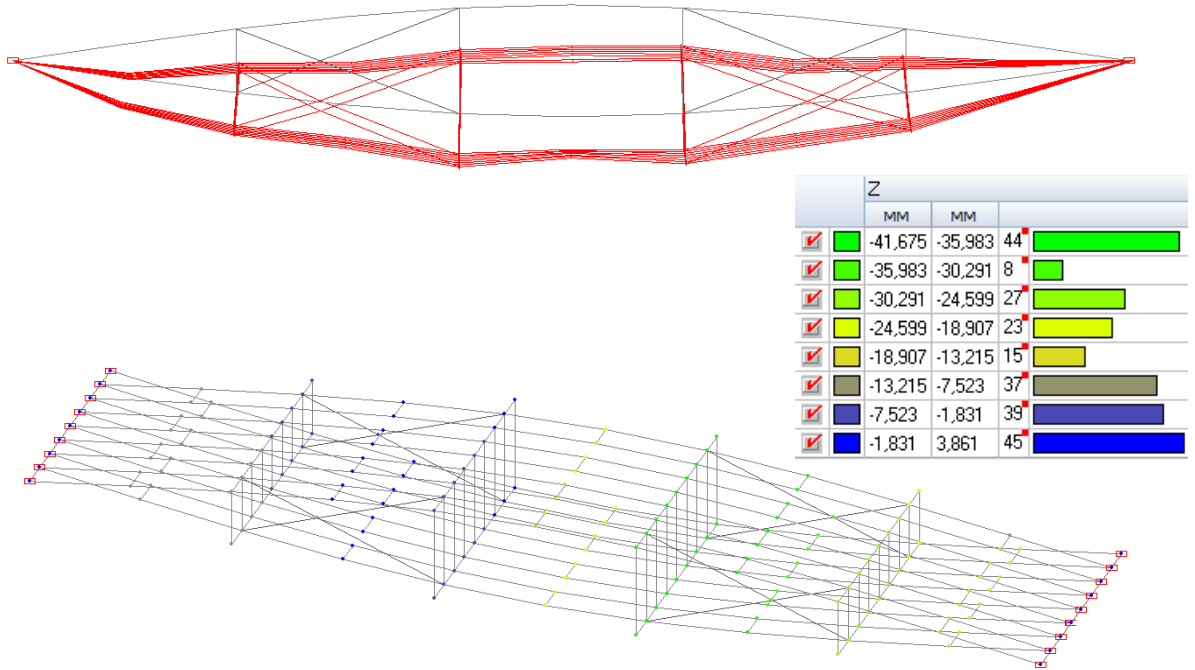


Рисунок 2.7.3 – Деформированная схема и вертикальные перемещения по Z, мм, при комбинации С2 для Варианта 2 расположения связей

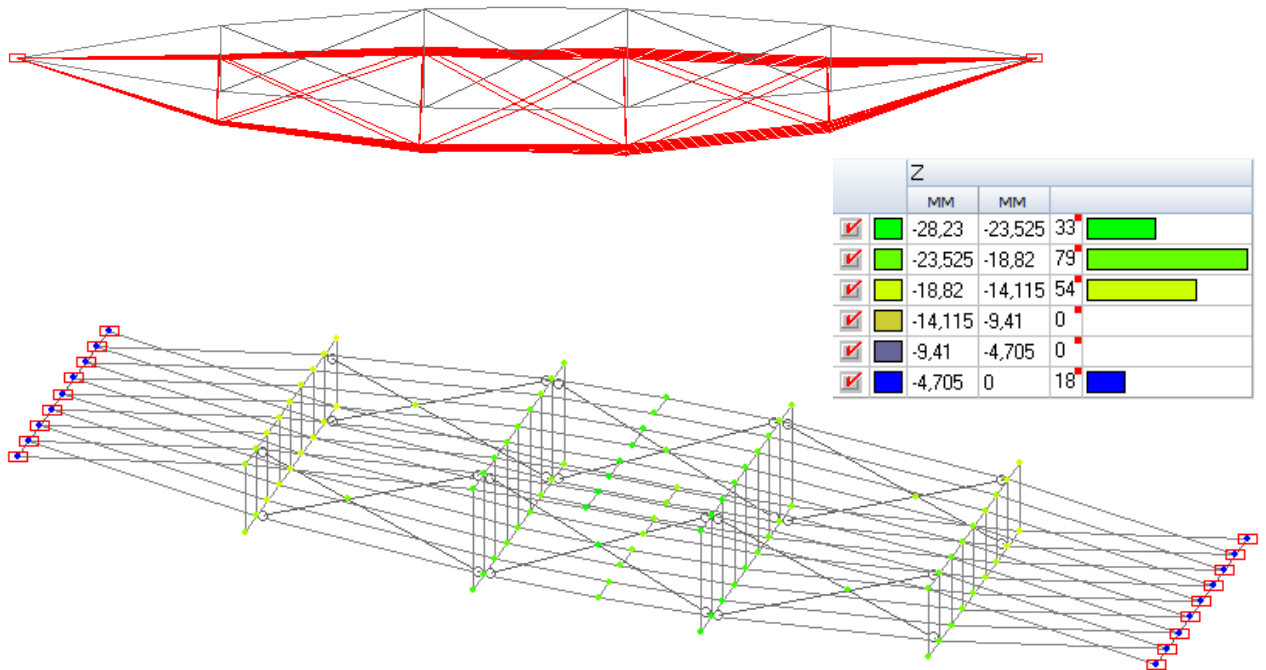


Рисунок 2.7.4 – Деформированная схема и вертикальные перемещения по Z, мм, при комбинации С2 для Варианта 3 расположения связей

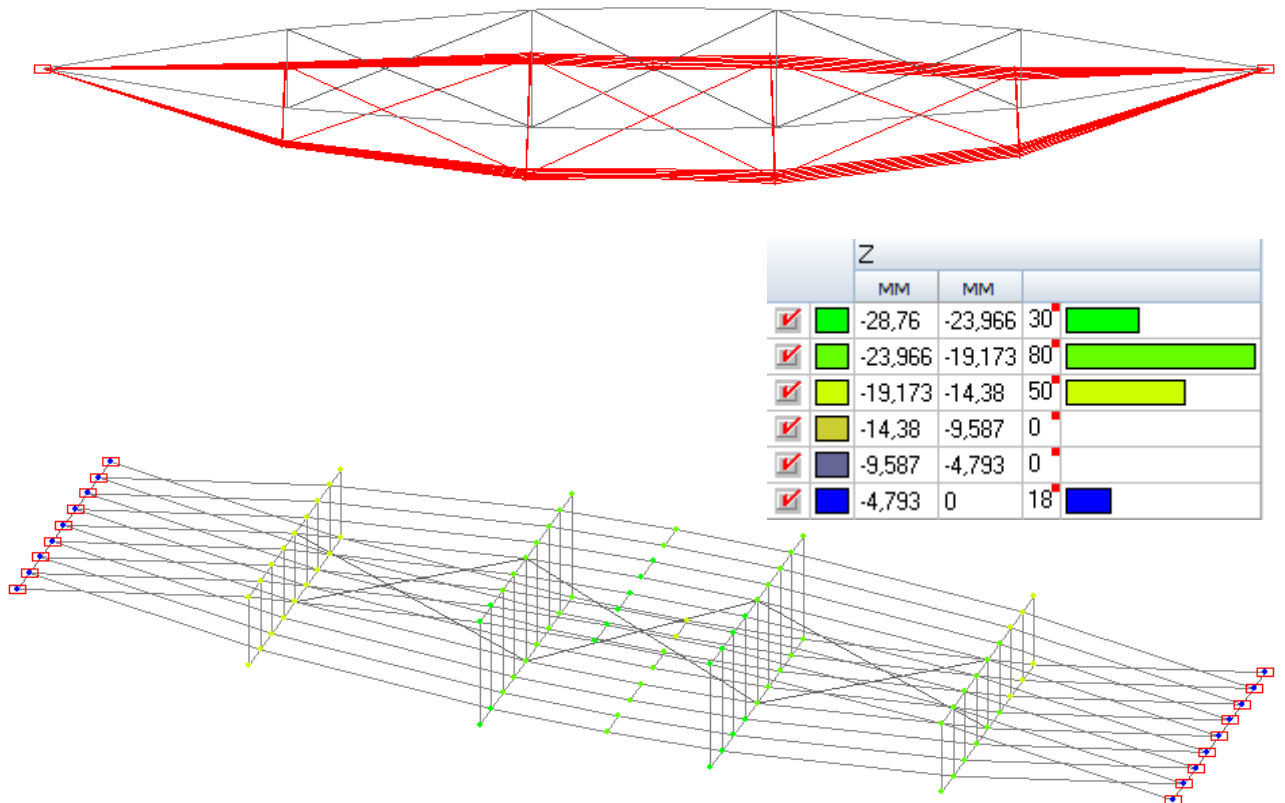


Рисунок 2.7.5 – Деформированная схема и вертикальные перемещения по Z, мм, при комбинации С2 для Варианта 4 расположения связей

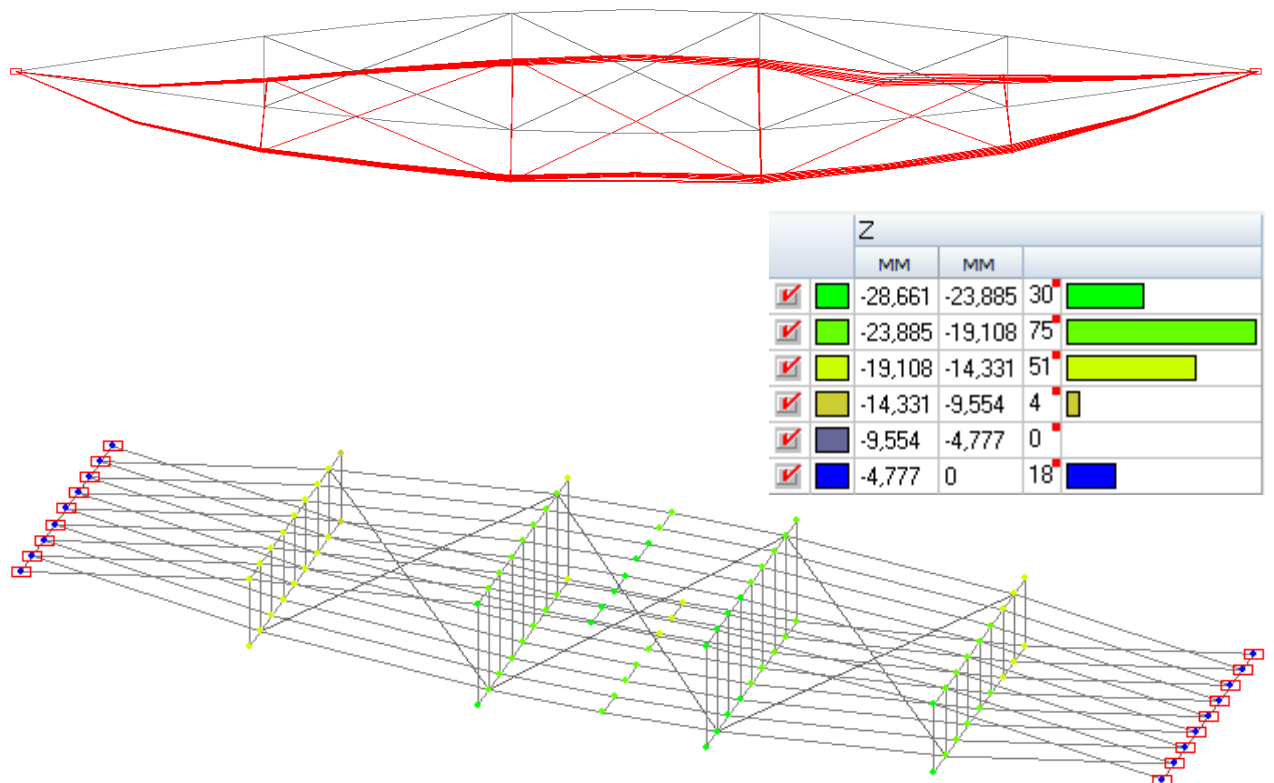


Рисунок 2.7.6 – Деформированная схема и вертикальные перемещения по Z, мм, при комбинации С2 для Варианта 5 расположения связей

Таблица 12 – Сравнение влияния вариантов постановки связей на общую жесткость

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Перемещения по Z при комбинации С2, мм	-63,251	-41,675	-28,23	-28,76	-28,661

Анализируя результаты расчета, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным является 3-ий вариант расположения вертикальных связей, он обеспечивает наименьшие перемещения и, следовательно, наибольшую жесткость.

2.8 Расчет и конструирование узлов конструкции

Чертежи плана и главного вида плиты покрытия с указанием расчетных узлов и их увеличенными изображениями представлены на Листах 2-3 Графической части (Приложение Ж).

Анализ частоты дробления поясов на пластинчатые конечные элементы представлен в Приложении Е.

2.8.1 Опорный узел

Существует множество конструктивных решений узла опирания. В дипломной работе было принято непосредственное опирание плиты на опору – несущую конструкцию покрытия (типа мауэрлата) с анкерровкой стержней на торцах плиты. Узел опирания представлен на рис. 2.8.1.1.

Расчет болтового соединения

Болтовое соединение в наконечниках элементов поясов линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов работает на смятие. Для симметричного соединения деревянного элемента пояса со стальными накладками (гнутыми пластинами) существуют следующие напряженные состояния соединения:

- 1) Смятие в средних элементах (материал элементов поясов);
- 2) Изгиб нагеля (болта).

В соответствии с [8], расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), кН, для стального нагеля при смятии в средних элементах определяется по формуле:

$$T = 0,75cd, \quad (2.8.1.1)$$

где $c = t_d$ – толщина среднего элемента (элемента пояса), см;
 d – диаметр нагеля, см.

$$T = 0,75cd = 0,75 \cdot 4 \cdot 1 = 3 \text{ кН}.$$

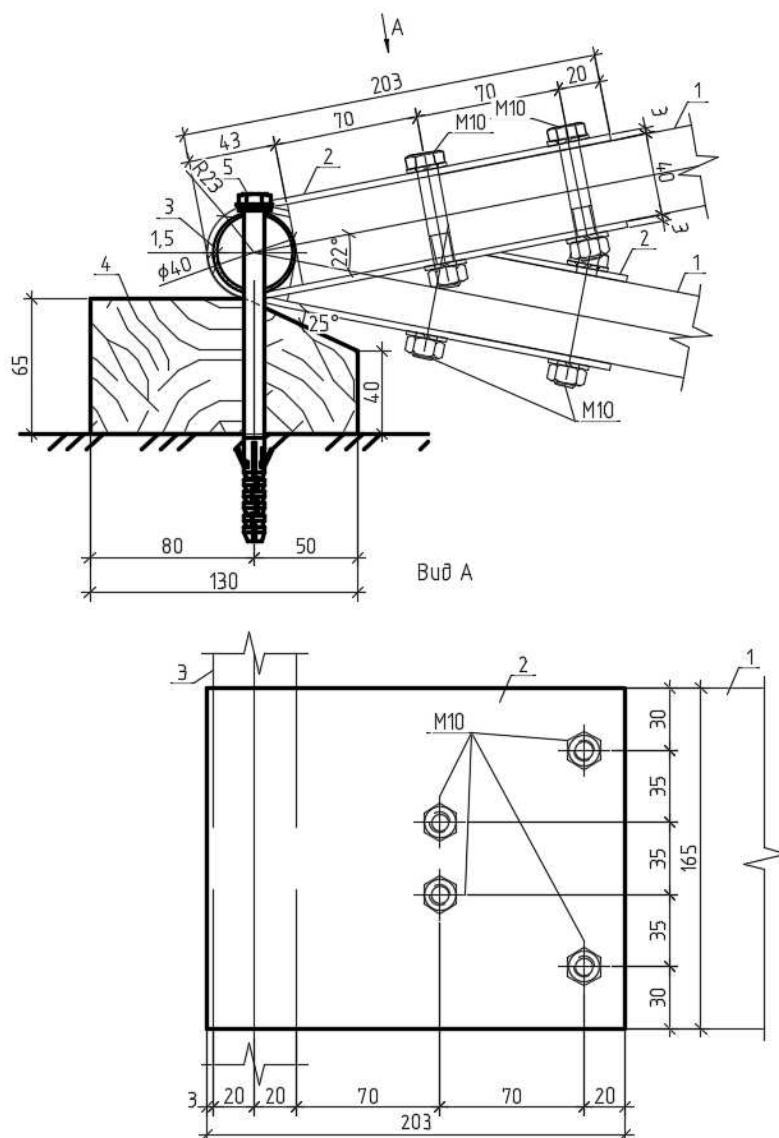


Рисунок 2.8.1.1 – Схема узла опирания:

- 1 – элементы поясов; 2 – гнутые пластины; 3 – стальная труба на торце плиты;
4 – опора; 5 – анкер 10x160 мм

Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), кН , для стального нагеля при его изгибе определяется по формуле:

$$\begin{cases} T = 2,2d^2 + 0,025a^2 \\ T \leq 3,1d^2 \end{cases}, \quad (2.8.1.2)$$

где d – диаметр нагеля, см ;

a – толщина крайнего элемента (гнутой пластины), см .

$$\begin{cases} T = 2,2d^2 + 0,025a^2 = 2,2 \cdot 1^2 + 0,025 \cdot 0,3^2 = 2,2 \text{ кН} \\ T \leq 3,1d^2 = 3,1 \cdot 1^2 = 3,1 \text{ кН} \end{cases}$$

За расчетную несущую способность нагельного соединения принимаем наименьшую из найденных:

$$T = T_{\min} = 2,2 \text{ кН}.$$

Число нагелей в соединении определяется по формуле:

$$n_n = \frac{N}{T \cdot n_{ш}} \geq 2, \quad (2.8.1.3)$$

где N – расчетное усилие, кН ;

T – наименьшая расчетная несущая способность нагельного соединения, кН ;

$n_{ш}$ – число расчетных швов одного нагеля.

Расчетное усилие N определяется по формуле:

$$N = N_{x\max} \cdot F_{бр}, \quad (2.8.1.4)$$

где $N_{x\max}$ – максимальное растягивающее усилие в узловом соединении, распределенное на площадь сечения элемента пояса (рис. 2.8.1.2), $\text{кН}/\text{м}^2$;

$F_{бр}$ – то же, что в формуле (2.3.1), м^2 .

$$N = N_{x\max} \cdot F_{бр} = 2109,096 \cdot 0,0066 = 13,92 \text{ кН}.$$

$$n_n = \frac{N}{T \cdot n_{ш}} = \frac{13,92}{2,2 \cdot 2} = 4 \text{ шт.} > 2 \text{ шт.} \Rightarrow \text{при постановке нагелей (болтов) в}$$

количестве, равном 4 шт., несущая способность соединения при смятии обеспечена.

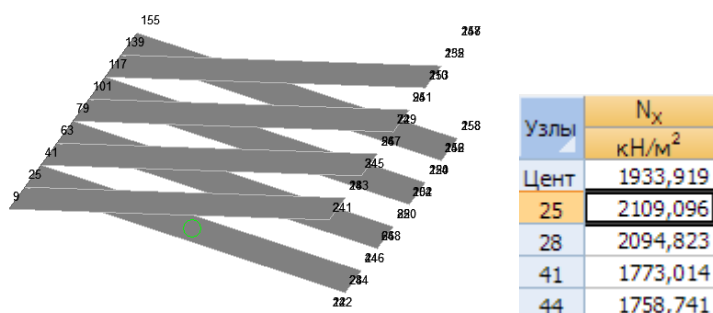


Рисунок 2.8.1.2 – Максимальные продольные растягивающие усилия в шарнирно-неподвижной связи, $\text{кН}/\text{м}^2$

В соответствии с прим. табл. 18 [8] расчет нагельных соединений на скалывание производить не следует, если выполнены условия расстановки нагелей (рис. 2.8.1.3):

– расстояние между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины $S_1 \geq 7d$, где d – диаметр нагеля (принято $S_1 = 70 \text{ мм}$);

- расстояние между осями цилиндрических нагелей поперек волокон древесины $S_2 \geq 3,5d$, где d – диаметр нагеля (принято $S_1 = 35$ мм);
- расстояние между осями цилиндрических нагелей и кромкой элемента $S_3 \geq 3d$, где d – диаметр нагеля (принято $S_1 = 30$ мм).

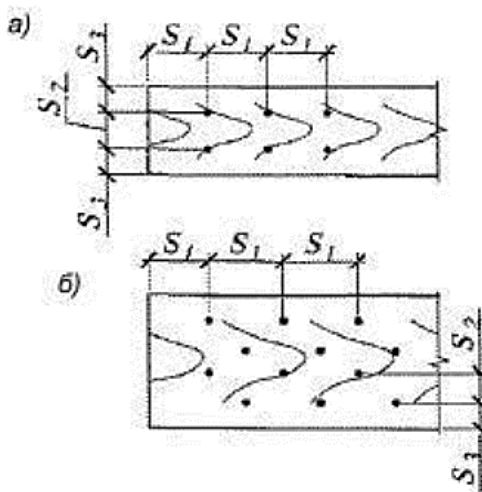


Рисунок 2.8.1.3 – Расстановка нагелей [8]

Расчет гнутой пластины на центральное растяжение

Расчет стальной гнутой пластины на прочность при центральном растяжении производится по следующей формуле:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (2.8.1.5)$$

где N – то же, что в формуле (2.8.1.3);

A_n – площадь сечения нетто, m^2 , для ослабленного сечения (рис. 2.8.1.3) с учетом того, что пластина проходит с двух сторон от доски;

R_y – расчетное сопротивление стали, $кПа$, $R_y = 235000$ $кПа$ для стали класса С245;

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1,1$ для элементов конструкций из стали с пределом текучести до 440 $МПа$, несущих статическую нагрузку, при расчете на прочность по сечению, ослабленному отверстиями для болтов (кроме фрикционных соединений) [9].

Площадь сечения нетто, ослабленного болтами, определяется по формуле

$$A_n = 2(t_{nl} \cdot b'_{nl}), \quad (2.8.1.6)$$

где t_{nl} – толщина гнутой пластины, $м$;

b'_{nl} – ширина гнутой пластины за вычетом ослаблений, $м$.

$$A_n = t_{nl} \cdot b'_{nl} = 2 \cdot (0,003 \cdot (0,165 - 2 \cdot 0,01)) = 0,00087 \text{ м}^2.$$

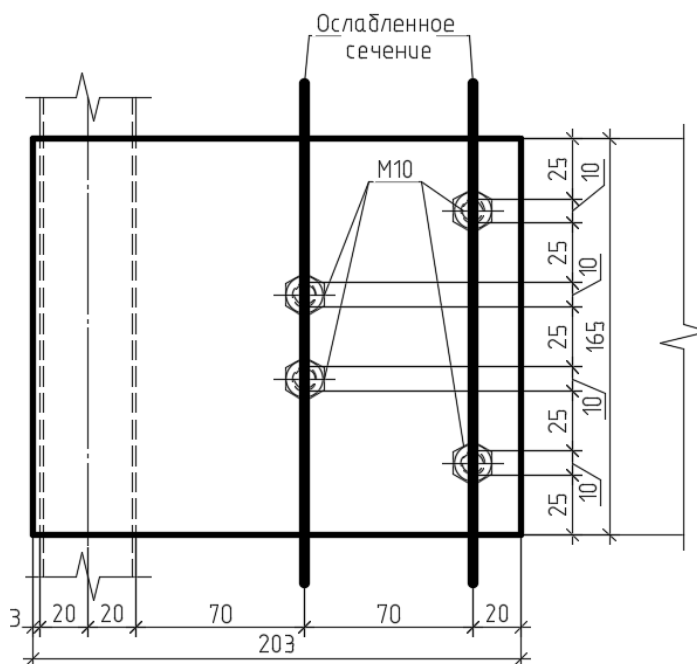


Рисунок 2.8.1.3 – Схема расположения ослабленного сечения гнутой пластины

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} = \frac{13,92}{0,00087 \cdot 235000 \cdot 1,1} = 0,062 < 1 \Rightarrow \text{прочность пластины обеспечена.}$$

Запас прочности составляет 94 %. Рациональным будет уменьшение толщины пластины по крайней мере до 2 мм:

$$A_n = t_{nl} \cdot b'_{nl} = 2 \cdot (0,002 \cdot (0,165 - 2 \cdot 0,01)) = 0,00058 \text{ м}^2.$$

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} = \frac{13,92}{0,00058 \cdot 235000 \cdot 1,1} = 0,1 < 1 \Rightarrow \text{прочность пластины обеспечена.}$$

Запас прочности составляет 90 %. Дальнейшее уменьшение толщины пластины не является рациональным, т.к. необходимо предусмотреть снижение толщины во время эксплуатации из-за возможной коррозии.

Расчет гнутой пластины на смятие болтами

Расчет крайних элементов наконечника (гнутой пластины) с пределом текучести до 400 МПа на смятие болтами класса точности А производится по следующей формуле:

$$\frac{N}{n} \leq N_{bp}, \tag{2.8.1.7}$$

где N – то же, что в формуле (2.8.1.3);

$n = n_H$ – то же, что в формуле (2.8.1.3);

N_{bp} – расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом при смятии, $кН$, определяется по формуле:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (2.8.1.8)$$

где R_{bp} – расчетное сопротивление одноболтового соединения смятию при классе точности А, $кПа$;

$d_b = d$ – то же, что в формуле (2.8.1.2);

$\sum t$ – суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении (рис. 2.8.1.4), $м$;

γ_c – то же, что в формуле (2.8.1.5);

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения, определяемый по формуле [табл. 41, 9] :

$$\gamma_b = 0,4 \cdot a / d + 0,2, \quad (2.8.1.9)$$

где a – расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия, $а = 20 мм$ (см. рис. 2.8.1.1);

d – то же, что в формуле (2.8.1.1).

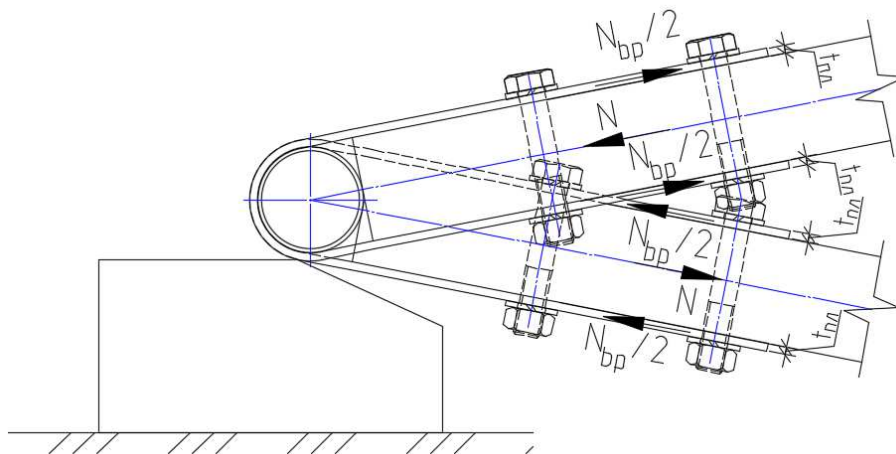


Рисунок 2.8.1.4 – Обозначение направлений действия сминающих сил

Расчетное сопротивление одноболтового соединения смятию при классе точности А R_{bp} определяется по формуле:

$$R_{bp} = 1,6R_u, \quad (2.8.1.10)$$

где R_u – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению, $кПа$, $R_u = 345000 кПа$.

$$\gamma_b = 0,4 \cdot a / d + 0,2 = 0,4 \cdot 20 / 10 + 0,2 = 1.$$

$$R_{bp} = 1,6R_u = 1,6 \cdot 345000 = 552000 \text{ кПа.}$$

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 552000 \cdot 0,01 \cdot (0,002 \cdot 2) \cdot 1 \cdot 1,1 = 24,228 \text{ кН.}$$

$$\frac{N}{n} = \frac{13,92}{4} = 3,48 \text{ кН} < N_{bp} = 24,228 \text{ кН} \Rightarrow \text{прочность болтового соединения}$$

на смятие обеспечена. Запас прочности составляет 86 %.

Расчет болтового соединения на срез болтов

Для болтов класса прочности 5.6 расчет на срез производится по формуле:

$$\frac{N}{n} \leq N_{bs}, \quad (2.8.1.11)$$

где N – то же, что в формуле (2.8.1.3), кН;

$n = n_n$ – то же, что в формуле (2.8.1.7);

N_{bs} – расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом при срезе, кН, определяется по формуле:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (2.8.1.12)$$

где R_{bs} – расчетное сопротивление одноболтового соединения срезу, кПа, для болтов класса прочности 5.6 $R_{bs} = 210000$ кПа;

A_b – площадь сечения болта брутто, м²;

$n_s = n_{ш}$ – количество расчетных швов среза;

γ_c – то же, что в формуле (2.8.1.5);

γ_b – то же, что в формуле (2.8.1.8), при срезе $\gamma_b = 1$.

Площадь сечения брутто определяется по формуле:

$$A_b = \pi R_b^2, \quad (2.8.1.13)$$

где R_b – радиус болта, м.

$$A_b = \pi R_b^2 = 3,14 \cdot 0,005^2 = 0,00007854 \text{ м}^2.$$

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 210000 \cdot 0,00007854 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,1 = 36,29 \text{ кН.}$$

$$\frac{N}{n} = \frac{13,92}{4} = 3,48 \text{ кН} < N_{bs} = 36,29 \text{ кН} \Rightarrow \text{прочность болтового соединения}$$

на срез болтов обеспечена. Запас прочности составляет 90 %.

Расчет трубы на сдвиг (срез)

Усилия от верхнего и нижнего поясов, воздействуя на поперечную трубу, заставляют ее работать на сдвиг (срез). Проверка прочности сечения стержня в этом случае выполняется по следующей формуле (п.8.2.1 [9]):

$$\frac{Q_y \cdot S}{J \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (2.8.1.14)$$

где Q_y – срезающая поперечная сила (рис. 2.8.1.8-2.8.1.9), H , определяется суммой максимальных усилий Q_{yi} в стержне, направленных в разные стороны;

S – статический момент полусечения трубы, для круглой трубы сечением $40 \times 1,5$ мм $S = 1110$ мм³;

J – момент инерции сечения трубы, $J = 52001,944$ мм⁴;

t_w – толщина стенки трубы, $t_w = 1,5$ мм;

R_s – расчетное сопротивление сдвигу, МПа, для трубы определяется по формуле:

$$R_s = \frac{0,58R_{yn}}{\gamma_m}, \quad (2.8.1.15)$$

где R_{yn} – предел текучести стали по национальным стандартам и ТУ на сталь, МПа, для стали класса С345 $R_{yn} = 325$ МПа;

γ_m – коэффициент надежности по материалу, определяемый по табл. 3 [9], $\gamma_m = 1,05$.

Расчетная схема трубы представляет собой шарнирно-опертую балку, показанную на рис. 2.8.1.5. Нижний индекс обозначений равномерно-распределенных нагрузок q_i обозначает номер элемента, от которого собрана данная нагрузка. Шарнирно-неподвижная опора обозначена там, где расположены анкеры.

Продольные усилия от поясов, приходящие на поперечную трубу, показаны и оцифрованы на рис. 2.8.1.6 (соответственно с рис. 2.8.1.5). Таблица с усилиями в узлах элементов, приведенными от распределенных на площадь сечения элемента пояса к распределенной на ширину элемента пояса, представлена ниже.

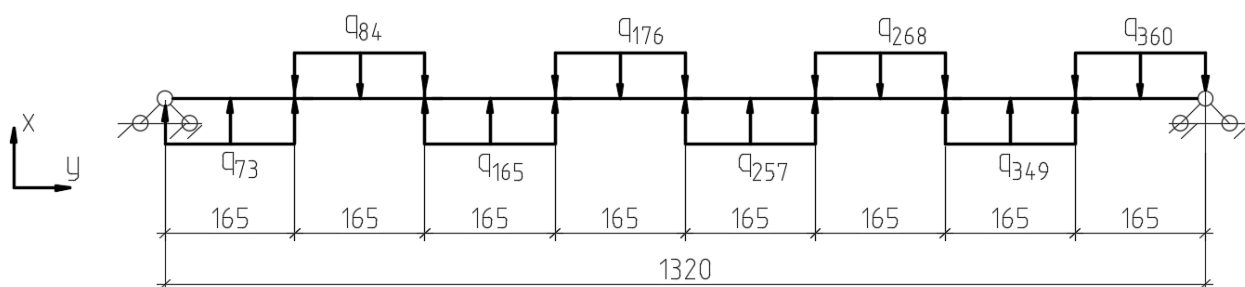


Рисунок 2.8.1.5 – Расчетная схема трубы

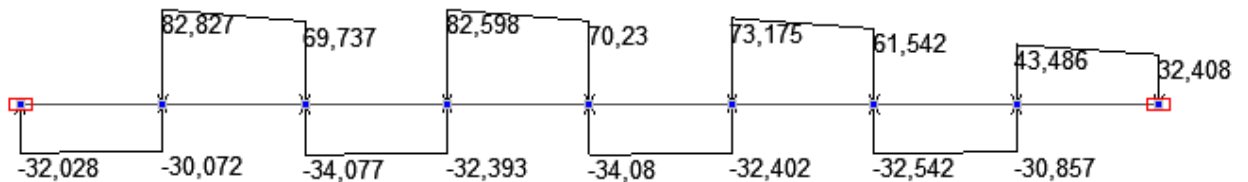
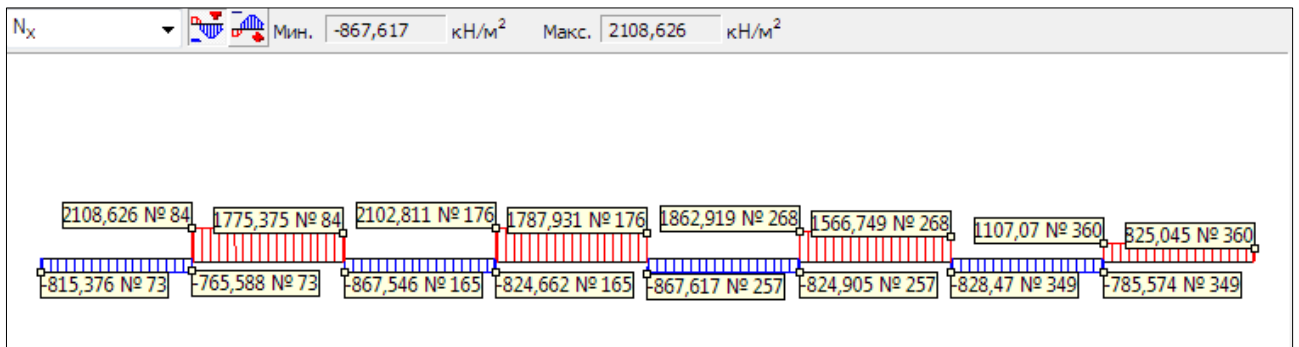


Рисунок 2.8.1.6 – Продольные усилия элементов поясов, примыкающих к трубе в ПК SCAD, кН/м^2 , и расчетная схема поперечной трубы

Таблица 13 – Расчет продольных усилий для балочной расчетной схемы трубы

№ элемента	$N_{xi}, \text{кН/м}^2$	α , град	$\text{Cos } \alpha$	Проекция N_{xi} на горизонталь, кН/м^2	$q_i, \text{кН/м}$
1	2	3	4	5	6
73	-815,376	11	0,982	-800,699	-32,028
	-765,588			-751,807	-30,072
84	2108,626			2070,671	82,827
	1775,375			1743,418	69,737
165	-867,546			-851,930	-34,077
	-824,662			-809,818	-32,393
176	2102,811			2064,960	82,598
	1787,931			1755,748	70,230
257	-867,617			-852,000	-34,080
	-824,905			-810,057	-32,402
268	1862,919			1829,386	73,175
	1566,749			1538,548	61,542
349	-828,47			-813,558	-32,542
	-785,574			-771,434	-30,857
360	1107,07	1087,143	43,486		
	825,045	810,194	32,408		

Примечания: гр. 3 – угол наклона элемента пояса к горизонтали;

гр. 6 – проекция N_{xi} на горизонталь, умноженная на толщину элемента пояса t_0 .

Т.к. ПК SCAD выдает усилия, действующие относительно местных осей элементов, то необходимо графу 2 умножить на графу 4.

Данная схема была задана в ПК SCAD (рис. 2.8.1.6). Сечение балки принято, как для трубы 40x1,5 из стали класса С345. Нагрузка от усилий условно

принята постоянной с коэффициентом надежности по нагрузке, равным $\gamma_f = 1$. Результаты расчета представлены на рис. 2.8.1.7-2.8.1.8.

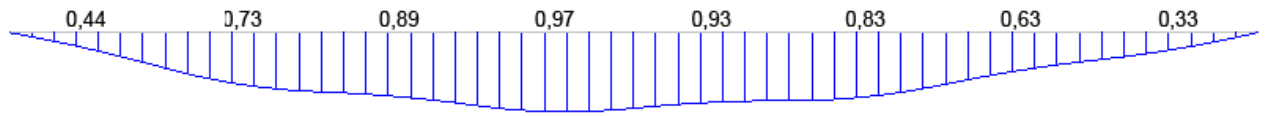


Рисунок 2.8.1.7 – Эпюра моментов M , $кНм$, в трубе от усилий поясов

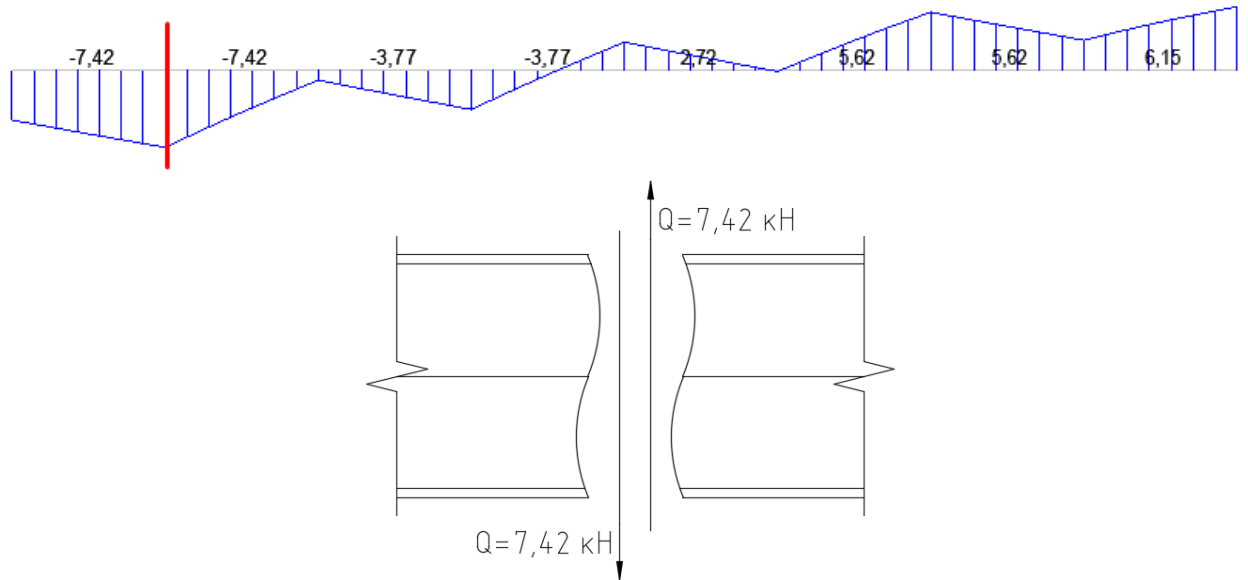


Рисунок 2.8.1.8 – Эпюра поперечных сил Q , $кН$, в трубе от усилий поясов, и сечение в точке действия максимальной поперечной силы с указанием направления ее действия

$$R_s = \frac{0,58R_{yn}}{\gamma_m} = \frac{0,58 \cdot 330}{1,05} = 182,29 \text{ МПа.}$$

$$Q_y = (7,42 + 7,42) \cdot 10^3 = 14840 \text{ Н.}$$

$$\frac{Q_y \cdot S}{J \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{14840 \cdot 1110}{33700 \cdot 1,5 \cdot 182,29 \cdot 1} = 1,79 > 1 \Rightarrow \text{условие не выполняется,}$$

прочность трубы на сдвиг не обеспечена. Необходимо взять сечение трубы 40x3 мм. Статический момент в этом случае будет равен $S' = 2060 \text{ мм}^3$, момент инерции $J' = 60066 \text{ мм}^4$, толщина $t_w = 3 \text{ мм}$. Тогда условие прочности будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{Q_y \cdot S'}{J' \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{14840 \cdot 2060}{60066 \cdot 3 \cdot 182,29 \cdot 1} = 0,93 < 1 \Rightarrow \text{условие выполняется,}$$

прочность трубы на сдвиг обеспечена. Запас прочности равен 7 %.

Расчет трубы на смятие

Элементы поясов воздействуют на трубу и могут вызвать ее смятие. Необходимо проверить условие смятия как для воздействия верхнего, так и нижнего пояса, т.к. площади смятия для них разные и рассчитываются по формулам (рис. 2.8.1.9):

$$A_{см}^{впояс} = t_{см} \cdot b_{\delta}, \quad (2.8.1.16)$$

где $A_{см}^{впояс}$ – площадь смятия от элемента верхнего пояса, $мм^2$;

$t_{см}$ – высота действия сжимающей силы, в соответствии с рис. 2.8.1.6 условно принимается равной 2 мм;

b_{δ} – то же, что в формуле (2.3.2);

$$A_{см}^{нпояс} = \frac{\pi D_m}{2} \cdot b_{\delta}, \quad (2.8.1.17)$$

где $A_{см}^{нпояс}$ – площадь смятия от элемента нижнего пояса, $мм^2$;

D_m – наружный диаметр трубы, мм;

b_{δ} – то же, что в формуле (2.3.2).

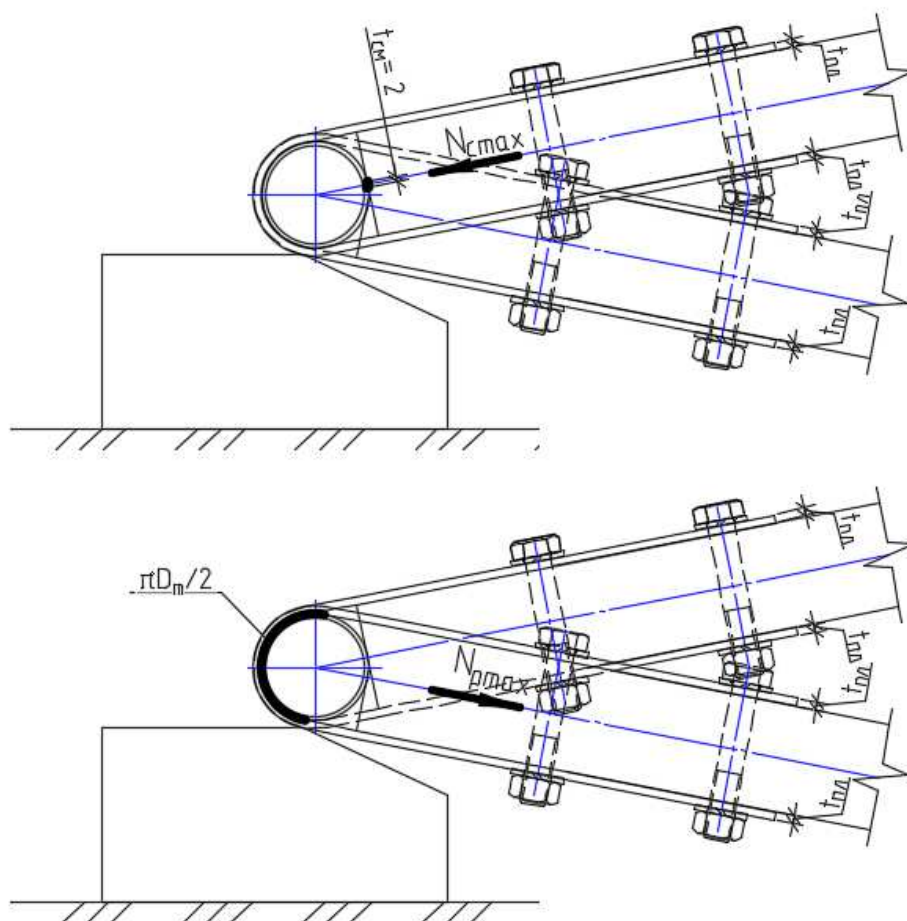


Рисунок 2.8.1.9 – Площади смятия трубы

Условие прочности трубы на смятие при воздействии на нее элементов верхнего пояса выполняется по формуле:

$$\frac{N_{с\max}}{A_{с\text{м}}^{\text{впояс}}} \leq R_{lp}, \quad (2.8.1.18)$$

где R_{lp} – расчетное сопротивление трубы на смятие, МПа;

$A_{с\text{м}}^{\text{впояс}}$ – то же, что в формуле (2.8.1.16);

$N_{с\max}$ – максимальное расчетное сжимающее усилие на опоре, Н.

Условие прочности трубы на смятие при воздействии на нее элементов нижнего пояса выполняется по формуле:

$$\frac{N_{p\max}}{A_{с\text{м}}^{\text{нпояс}}} \leq R_{lp}, \quad (2.8.1.19)$$

где R_{lp} – то же, что в формуле (2.8.1.18);

$A_{с\text{м}}^{\text{нпояс}}$ – то же, что в формуле (2.8.1.16);

$N_{p\max}$ – максимальное расчетное растягивающее усилие на опоре, Н.

Расчетное сопротивление трубы на смятие R_{lp} определяется по формуле:

$$R_{lp} = \frac{0,5R_{un}}{\gamma_m}, \quad (2.8.1.20)$$

где R_{un} – временное сопротивление стали, кПа, для стали класса С345 $R_{un} = 490$ МПа;

γ_m – коэффициент надежности по материалу, $\gamma_m = 1,05$.

Максимальное расчетное сжимающее усилие на опоре определяется по формуле:

$$N_{с\max} = 1000 \cdot N_{с\max}^{\text{распр}} \cdot F_{бр}, \quad (2.8.1.21)$$

где $N_{с\max}^{\text{распр}}$ – расчетное сжимающее усилие на опоре, распределенное по площади сечения элемента верхнего пояса, кН/м² (рис. 2.8.1.10);

$F_{бр}$ – то же, что в формуле (2.3.1), м².

Максимальное расчетное растягивающее усилие на опоре определяется по формуле:

$$N_{p\max} = 1000 \cdot N_{p\max}^{\text{распр}} \cdot F_{бр}, \quad (2.8.1.22)$$

где $N_{p\max}^{\text{распр}}$ – расчетное растягивающее усилие на опоре, распределенное по площади сечения элемента нижнего пояса, кН/м² (рис. 2.8.1.2);

$F_{\bar{\sigma}p}$ – то же, что в формуле (2.3.1), M^2 .

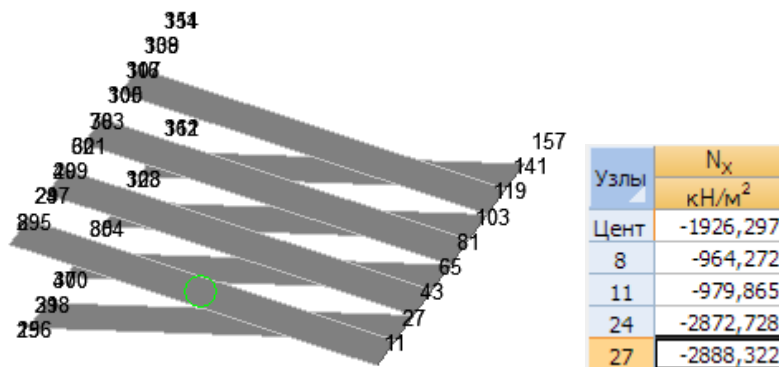


Рисунок 2.8.1.10 - Максимальные продольные сжимающие усилия в шарнирно-неподвижной связи, $кН/м^2$

$$A_{см}^{впояс} = t_{см} \cdot b_{\delta} = 2 \cdot 165 = 330 \text{ мм}^2.$$

$$N_{сmax} = 1000 \cdot N_{сmax}^{распр} \cdot F_{\bar{\sigma}p} = 1000 \cdot 2888,322 \cdot 0,0066 = 19063 \text{ Н}.$$

$$R_{lp} = \frac{0,5 R_{un}}{\gamma_m} = \frac{0,5 \cdot 490}{1,05} = 233,3 \text{ МПа}.$$

$$\frac{N_{сmax}}{A_{см}^{впояс}} = \frac{19063}{330} = 57,8 \text{ МПа} < R_{lp} = 171,43 \text{ МПа} \Rightarrow \text{прочность трубы на смятие}$$

элементами верхнего пояса обеспечена. Запас прочности равен 66 %.

$$A_{см}^{нпояс} = \frac{\pi D_m}{2} \cdot b_{\delta} = \frac{3,14 \cdot 40}{2} \cdot 165 = 10367,26 \text{ мм}^2.$$

$$\frac{N_{pmax}}{A_{см}^{нпояс}} = \frac{13920}{10367,26} = 1,34 \text{ МПа} < R_{lp} = 171,43 \text{ МПа} \Rightarrow \text{прочность трубы на}$$

смятие элементами нижнего пояса обеспечена.

Расчет трубы на изгиб

Выполним расчет трубы на прочность при изгибе, используя рис. 2.8.1.7. Условие прочности при изгибе выполняется по формуле:

$$\frac{M_{max}}{W_m \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (2.8.1.23)$$

где M_{max} – максимальный изгибающий момент в трубе, $кНм$;

W_m – момент сопротивления трубы, для круглой трубы 40x3 мм
 $W_m = 0,000003 \text{ м}^3$;

R_y – то же, что в формуле (2.8.1.5), для поперечной трубы $R_y = 345000 \text{ кПа}$;

γ_c – коэффициент условий работы, принят равным 1.

$$\frac{M_{\max}}{W_m \cdot R_y \cdot \gamma_c} \frac{0,97}{0,000003 \cdot 345000 \cdot 1} = 0,94 < 1 \Rightarrow \quad \text{условие} \quad \text{прочности}$$

выполняется. Запас прочности равен 6 %.

Расчет анкера на срез

Анкерный болт класса прочности 5.6, расположенный с двух сторон от плиты и проходящий через трубу, рассчитывается на срез по следующей формуле:

$$\frac{Q_{\max}}{n_a \cdot n_{ua}} \leq N_{bs}, \quad (2.8.1.24)$$

где Q_{\max} – максимальное значение поперечной силы на шарнирно-неподвижных опорах с двух сторон от трубы (см. рис. 2.8.1.12), кН;

n_a – число анкеров с одной стороны, $n_a = 1 \text{ шт.}$);

n_{ua} – число расчетных срезов анкерного болта, $n_{ua} = 1 \text{ шт.}$;

N_{bs} – расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом при срезе, кН, определяется по формуле:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_{ba} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (2.8.1.25)$$

где R_{bs} – расчетное сопротивление одноболтового соединения срезу, кПа, для болтов класса прочности 5.6 $R_{bs} = 210000 \text{ кПа}$;

A_{ba} – площадь сечения анкерного болта брутто, м^2 ;

$n_s = n_{ua}$ – число расчетных срезов, $n_{ua} = 1$;

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1$;

γ_b – то же, что в формуле (2.8.1.8), при срезе $\gamma_b = 1$.

Площадь сечения брутто определяется по формуле:

$$A_{ba} = \pi R_{ba}^2, \quad (2.8.1.26)$$

где R_{ba} – радиус анкерного болта, м.

$$A_{ba} = \pi R_{ba}^2 = 3,14 \cdot 0,005^2 = 0,00007854 \text{ м}^2.$$

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_{ba} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 210000 \cdot 0,00007854 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 36,29 \text{ кН}.$$

$$\frac{Q_{\max}}{n_a \cdot n_{\text{ша}}} = \frac{7,42}{1 \cdot 1} = 7,42 \text{ кН} < N_{bs} = 36,29 \text{ кН} \Rightarrow \text{условие выполняется,}$$
 прочность анкера на срез обеспечена. Запас прочности равен 80 %.

2.8.2 Узел крепления раскосов

Существует множество конструктивных решений узла крепления раскосов к поясам. Было принято крепление через металлические гнутые пластины толщиной 2 мм при помощи болтов. Оси раскосов, стоек и поясов пересекаются в одной точке. Узел опирания представлен на рис. 2.8.2.1.

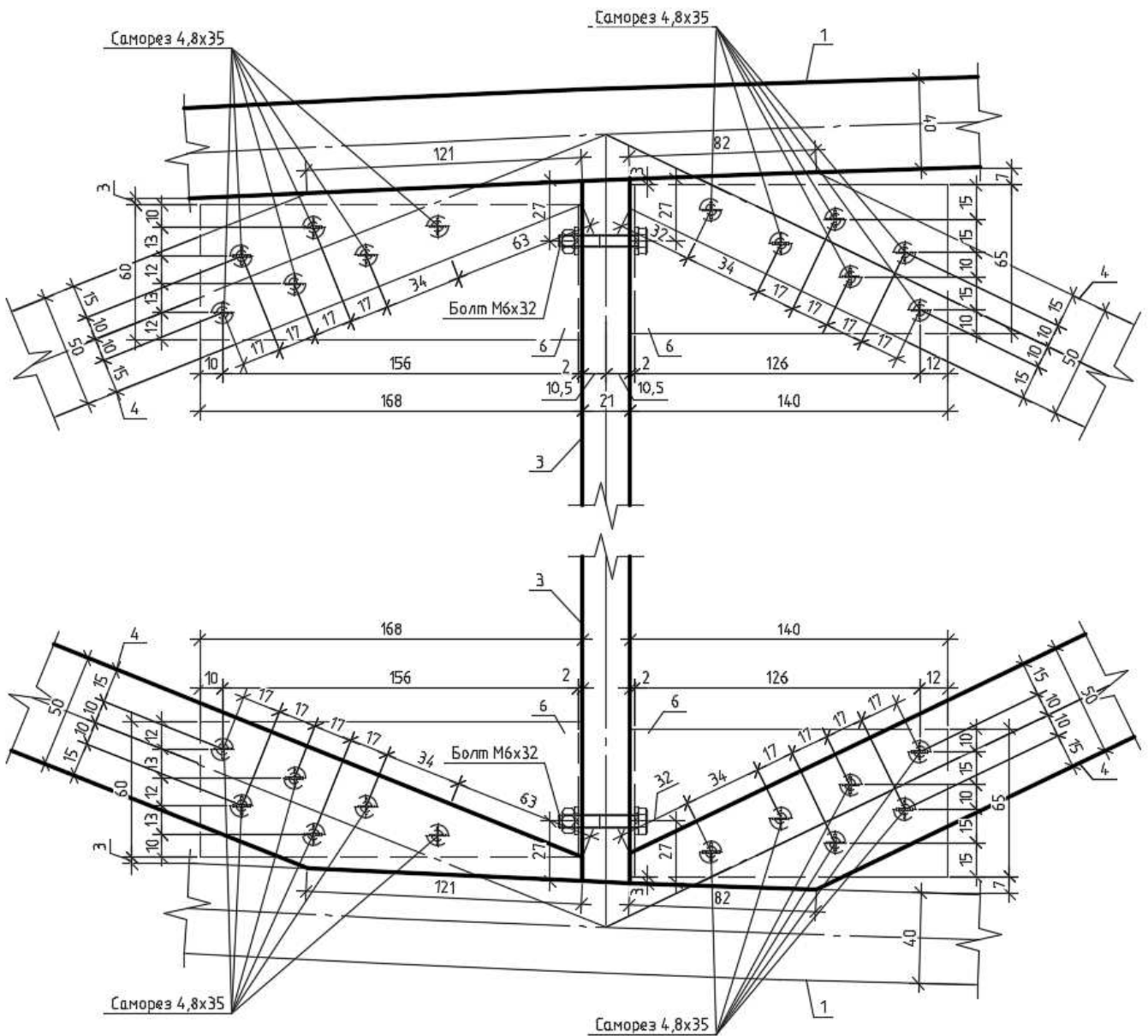


Рисунок 2.8.2.1 – Узел крепления раскосов к стойкам поясов:
 1 – элементы поясов; 2 – стойка; 3 – раскосы; 4 – гнутые пластины

Расчет раскоса на устойчивость

Расчет на устойчивость центрально-сжатого раскоса цельного сечения выполняется по формуле:

$$\frac{N_{pc}}{\varphi A_p} \leq R_c, \quad (2.8.2.1)$$

где N_{pc} – максимальное сжимающее усилие в раскосе (рис. 2.8.2.2), H ;

A_p – поперечное сечение раскоса, $мм^2$;

R_c – то же, что в формуле (2.3.1), $МПа$;

φ – то же, что в формуле (2.3.1).

Геометрическая схема с указанием длин раскосов по их осям показана на рис. 2.8.2.3. Из рисунка видно, что свободная длина раскоса, в котором действуют максимальные сжимающие усилия, равна $l_p = 1293$ мм.

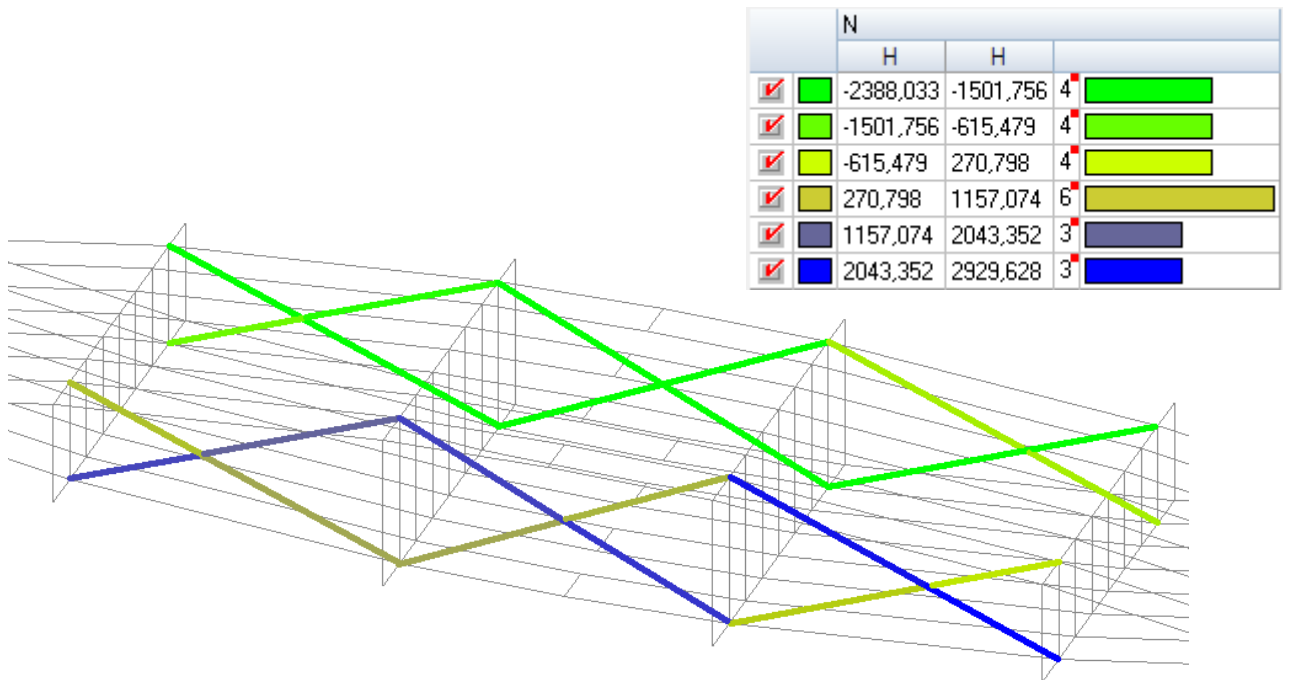


Рисунок 2.8.2.2 – Продольные усилия N , H , в раскосах от действия комбинации нагрузок С2

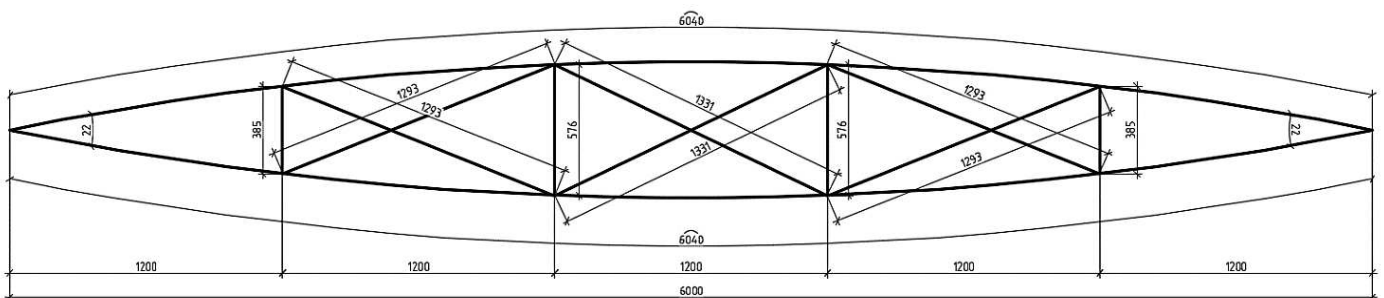


Рисунок 2.8.2.3 – Геометрическая схема плиты

Площадь сечения раскоса A_p , $мм^2$, определяется по формуле:

$$A_p = b_p h_p, \quad (2.8.2.2)$$

где b_p – ширина сечения раскоса, $b_p = 20$ мм;
 h_p – высота сечения раскоса, $h_p = 50$ мм.

$$A_p = b_p h_p = 50 \cdot 20 = 1000 \text{ мм}^2.$$

Определим наименьший момент инерции сечения раскоса по формуле (2.1.3), радиус инерции раскоса по формуле (2.3.13) и гибкость по формуле (2.3.12):

$$J = \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} = \frac{50 \cdot 20^3}{12} = 333333,33 \text{ мм}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{A_p}} = \sqrt{\frac{333333,33}{1000}} = 5,774 \text{ мм}.$$

$$\lambda = \frac{l_p \cdot \mu_0}{r} = \frac{1293 \cdot 1}{5,774} = 223,93.$$

Гибкость элемента больше предельной гибкости $\lambda_{max} = 200$ (табл. 16 [8]). Для уменьшения гибкости увеличим толщину сечения раскоса до $h_p = 35$ мм. Пересчитаем значения площади сечения, момента инерции, радиуса инерции, гибкости и коэффициента продольного изгиба:

$$A_p = b_p h_p = 50 \cdot 35 = 1750 \text{ мм}^2.$$

$$J = \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} = \frac{50 \cdot 35^3}{12} = 178645,83 \text{ мм}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{A_p}} = \sqrt{\frac{178645,83}{1750}} = 10,1 \text{ мм}.$$

$$\lambda = \frac{l_p \cdot \mu_0}{r} = \frac{1293 \cdot 1}{10,1} = 127,97 < \lambda_{max} = 200 \Rightarrow \text{условие удовлетворяется}.$$

Для $\lambda > 70$ коэффициент продольного изгиба определяется по формуле (2.3.11):

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} = \frac{3000}{127,97^2} = 0,183.$$

$$\frac{N_{pc}}{\varphi A_p} = \frac{2388,033}{0,183 \cdot 1750} = 7,45 \text{ МПа} < R_c = 19,5 \text{ МПа} \Rightarrow \text{условие выполняется,}$$

устойчивость обеспечена. Запас устойчивости равен 62 %.

Расчет раскоса на смятие в лобовом упоре

Раскос в 4-ом секторе примыкает к правой стойке лобовым упором под углом 28° к элементу верхнего пояса. Проверка на смятие под углом выполняется по формуле:

$$\frac{N_{pp} \cdot \text{Cos}(\alpha)}{A_{см}} \leq R_{см\alpha}, \quad (2.8.2.3)$$

где $R_{см\alpha}$ - расчетное сопротивление древесины смятию под углом, МПа;

N_{pp} - максимальное растягивающее усилие в раскосе (рис. 2.8.2.2);

$A_{см}$ - площадь смятия, мм²;

α - угол примыкания элементов, $\alpha = 28^\circ$.

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом $R_{см\alpha}$ определяется по формуле:

$$R_{см\alpha} = \frac{R_{см}^A}{1 + \left(\frac{R_{см}^A}{R_{см90}^A} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha}, \quad (2.8.2.4)$$

где $R_{см}^A$ - расчетное сопротивление древесины смятию вдоль волокон,

$R_{см}^A = 19,5 \text{ МПа}$;

$R_{см90}^A$ - расчетное сопротивление смятию поперек волокон, $R_{см90}^A = 4,5 \text{ МПа}$;

α - то же, что в формуле (2.8.2.3).

Площадь смятия определяем по формуле:

$$A = b_1 \cdot h_p, \quad (2.8.2.5)$$

где $b_1 = 12 \text{ мм}$ - ширина площадки скалывания (рис. 2.8.2.4);

h_p - то же, что в формуле 2.8.2.2.

$$A = b_1 \cdot h_p = 12 \cdot 35 = 420 \text{ мм}^2.$$

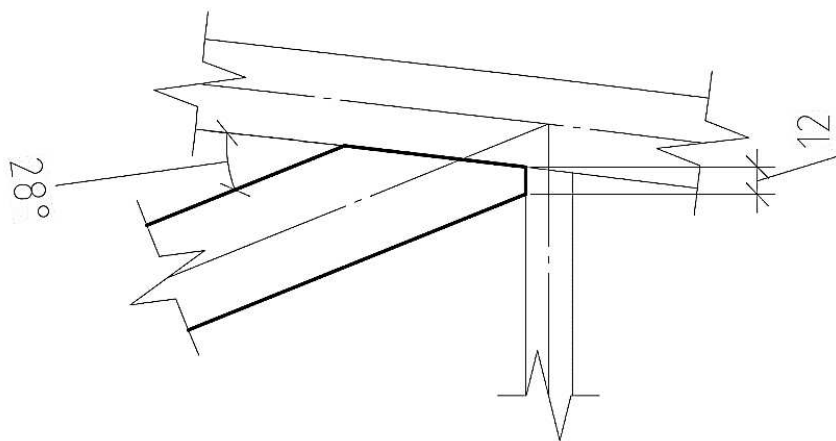


Рисунок 2.8.2.4 – Узел примыкания раскоса с максимальным сминающим усилием с указанием угла и высота площадки смятия

$$R_{сма\alpha} = \frac{R_{см}^A}{1 + \left(\frac{R_{см}^A}{R_{см90}^A} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha} = \frac{19,5}{1 + \left(\frac{19,5}{4,5} - 1 \right) \cdot \sin^3 (28^\circ)} = 14,5 \text{ МПа.}$$

$$\frac{N_{pp} \cdot \text{Cos}(\alpha)}{A_{см}} = \frac{2929,628 \cdot \text{Cos}(28^\circ)}{420} = 6,16 \text{ МПа} < R_{сма\alpha} = 14,5 \text{ МПа} \Rightarrow \text{условие}$$

выполняется, прочность раскоса на смятие обеспечена. Запас прочности равен 58 %.

Расчет раскоса на смятие саморезами

Саморезы (стальные нагели) в торце раскоса, крепящие его к конструкции, могут смять древесину раскоса. Необходимо сравнить несущие способности T на один шов сплачивания (условный срез), kH , для стального нагеля при смятии в средних элементах и при его изгибе с расчетным сминающим усилием, равным $N_{pp} = 2365,255 \text{ Н}$.

В соответствии с [8], расчетная несущая способность в более толстых элементах (раскосе) односрезных несимметричных соединений определяется по формуле:

$$T = 0,55cd, \tag{2.8.2.6}$$

где $c = h_p$ – толщина среднего элемента (раскоса), $c = 3,5 \text{ см}$;

d – диаметр нагеля, $см$.

Примем саморез 4,8x38 мм диаметром $d = 0,48 \text{ см}$. Тогда расчетная несущая способность нагеля равна

$$T = 0,55cd = 0,55 \cdot 3,5 \cdot 0,48 = 0,924 \text{ кН.}$$

Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), κH , для стального нагеля из стали класса С235 при его изгибе определяется по формуле:

$$\begin{cases} T = 2,2d^2 + 0,025a^2 \\ T \leq 3,1d^2 \end{cases}, \quad (2.8.2.7)$$

где d – то же, что в формуле (2.7.2.6);

a – толщина крайнего элемента (пластины), $a = 0,2$ см.

$$\begin{cases} T = 2,2d^2 + 0,025a^2 = 2,2 \cdot 0,48^2 + 0,025 \cdot 0,2^2 = 0,50788 \kappa H \\ T \leq 3,1d^2 = 3,1 \cdot 0,48^2 = 0,71424 \kappa H. \end{cases}$$

За расчетную несущую способность нагельного соединения принимаем наименьшую из найденных:

$$T = T_{\min} = 0,50788 \kappa H.$$

Условие прочности соединения определяется по формуле:

$$n_n = \frac{N}{T \cdot n_{uu}} \geq 2, \quad (2.8.2.8)$$

где n_n – количество нагелей, шт.;

$N = N_{pp}$ – расчетное сминающее усилие, κH (рис. 2.8.2.1);

T – наименьшая расчетная несущая способность нагельного соединения, κH ;

n_{uu} – число расчетных швов одного нагеля.

$$n_n = \frac{N}{T \cdot n_{uu}} = \frac{2,365}{0,50788 \cdot 1} = 6 \text{ шт.} > 2 \Rightarrow \text{несущая способность соединения на смятие}$$

при данной постановке нагелей обеспечена при количестве нагелей (саморезов), равном 6 шт.

Расчет болтового соединения при гнутой пластине на растяжение

Растянутые раскосы, прикрепленные к конструкции плиты при помощи гнутых пластин, при воздействии нагрузки передают на них усилия, заставляющие растягиваться болты, крепящие уголки к стойкам. Расчетное растягивающее усилие, которое может быть воспринято болтом, определяется по формуле:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c, \quad (2.8.2.9)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление одноболтового соединения смятию, для болтов класса прочности 5.6 $R_{bt} = 225 \text{ МПа}$;

A_{bn} – площадь сечения резьбовой части нетто болта, для болта М6 $A_{bn} = 18,99 \text{ мм}^2$;

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1$.

Рассмотрим рисунок 2.8.2.4. На нем (слева) изображен фрагмент расчетной схемы с указанием двух максимальных растягивающих усилий в раскосах, которые через гнутую пластину передаются на болты в стойке; их горизонтальная составляющая заставляет болты растягиваться (углы наклона раскосов указаны в правой части рис. 2.8.2.5). Следовательно, расчетное усилие $N_{pp\text{сум}}$, H , воспринимаемое болтовым соединением, определяется суммой произведений растягивающих усилий на косинусы углов наклона соответствующих раскосов:

$$N_{pp\text{сум}} = N_{pp1} \cdot \text{Cos}(28^\circ) + N_{pp2} \cdot \text{Cos}(19^\circ), \quad (2.8.2.10)$$

где $N_{pp1} = 1699,973 \text{ Н}$ (см. рис. 2.8.2.5);

$N_{pp2} = 2038,004 \text{ Н}$ (см. рис. 2.8.2.5).

Прочность болта при растяжении обеспечивается при выполнении условия:

$$\frac{N_{pp\text{сум}}}{N_{bt} \cdot n} \leq 1, \quad (2.8.2.11)$$

где $N_{pp\text{сум}}$ – расчетное растягивающее усилие от двух соседних раскосов;

n – количество болтов, крепящих гнутый уголок к стойке, $n \geq 2$.

Предварительно примем $n = 2 \text{ шт.}$

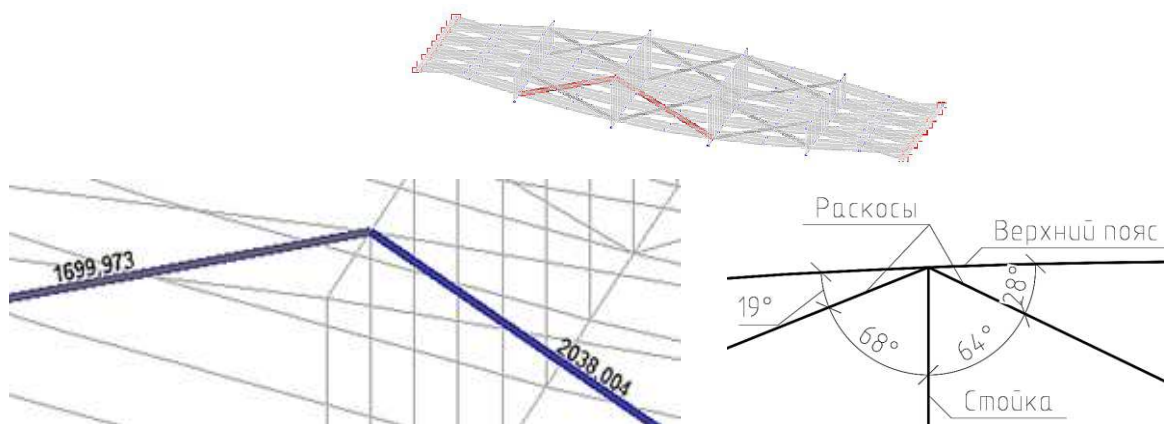


Рисунок 2.8.2.5 – Геометрическая схема узла с максимальными растягивающими усилиями, H

$$N_{pp\text{сум}} = N_{pp1} \cdot \text{Cos}(19^\circ) + N_{pp2} \cdot \text{Cos}(28^\circ) = 1699,973 \cdot 0,946 + 2038,004 \cdot 0,883 = 3407,73 \text{ H}.$$

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c = 225 \cdot 18,99 \cdot 1 = 4272,41 \text{ H}.$$

$$\frac{N_{pp\text{сум}}}{N_{bt} \cdot n} = \frac{3407,73}{4272,41 \cdot 2} = 0,4 < 1 \Rightarrow \text{прочность болта при растяжении}$$

обеспечена. Запас прочности равен 42 %.

Расчет болтового соединения при гнутой пластине на срез

Вертикальная составляющая расчетного растягивающего усилия, действующего на болтовое соединение между гнутой пластиной и стойкой, заставляет болты работать на срез. В этом случае расчетное срезающее усилие $N_{ps\text{сум}}$, H , определяется по формуле:

$$N_{ps\text{сум}} = N_{pp1} \cdot \text{Sin}(19^\circ) + N_{pp2} \cdot \text{Sin}(28^\circ), \quad (2.8.2.12)$$

где $N_{pp1} = 1699,973 \text{ H}$ (см. рис. 2.8.2.5);

$N_{pp2} = 2038,004 \text{ H}$ (см. рис. 2.8.2.5).

Прочность болта на срез обеспечивается при выполнении условия:

$$\frac{N_{ps\text{сум}}}{n \cdot n_{uu}} \leq N_{bs}, \quad (2.8.2.13)$$

где $N_{ps\text{сум}}$ – расчетное срезающее усилие, H ;

n – число болтов, $n = 2 \text{ шт.}$;

n_{uu} – число расчетных срезов одного болта, $n_{uu} = 2 \text{ шт.}$;

N_{bs} – расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом при срезе, κH , определяется по формуле:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_{bM6} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c, \quad (2.8.2.14)$$

где R_{bs} – расчетное сопротивление одноболтового соединения срезу, $\kappa Па$, для болтов класса прочности 5.6 $R_{bs} = 210 \text{ МПа}$;

A_{bM6} – площадь сечения болта брутто, м^2 ;

$n_s = n_{uu}$ – то же, что в формуле (2.8.2.13);

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 1$;

γ_b – то же, что в формуле (2.8.1.8), при срезе $\gamma_b = 1$.

d_{M6} – диаметр болта М6, $d_{M6} = 6 \text{ мм}$.

Площадь сечения брутто определяется по формуле:

$$A_{bM6} = \pi R_{bM6}^2, \quad (2.8.2.15)$$

где R_{bM6} – радиус болта М6, $R_{bM6} = 3 \text{ мм}$.

$$N_{pp\text{сум}} = N_{pp1} \cdot \sin(19^\circ) + N_{pp2} \cdot \sin(28^\circ) = 1699,973 \cdot 0,326 + 2038,004 \cdot 0,469 = 1510 \text{ Н}.$$

$$A_{ba} = \pi R_{ba}^2 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,27 \text{ мм}^2.$$

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_{bM6} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 210 \cdot 28,27 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,1 = 13060,74 \text{ Н}.$$

$$\frac{N_{pp\text{сум}}}{n \cdot n_{uu}} = \frac{1510}{2 \cdot 2} = 377,5 \text{ Н} < N_{bs} = 13060,74 \text{ Н} \Rightarrow \text{условие выполняется,}$$

прочность болтового соединения на срез обеспечена.

Расчет гнутой пластины при раскосе на растяжение

Расчет гнутой пластины при раскосе на прочность при растяжении выполняется по формуле:

$$\frac{N_{pp\text{сум}}}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (2.8.2.16)$$

где $N_{pp\text{сум}}$ – то же, что в формуле (2.8.2.10), Н ;

A_n – площадь сечения нетто, мм^2 , для ослабленного сечения (рис. 2.8.2.6);

R_y – расчетное сопротивление стали, МПа , $R_y = 225 \text{ МПа}$ для стали класса С235;

γ_c – то же, что в формуле (2.8.1.5).

Площадь сечения нетто, ослабленного болтами, определяется по формуле

$$A_n = t_{nl} \cdot b'_{nl}, \quad (2.8.2.17)$$

где t_{nl} – толщина гнутой пластины, мм ;

b'_{nl} – ширина гнутой пластины за вычетом ослаблений, мм .

$$A_n = t_{nl} \cdot b'_{nl} = 2 \cdot (65 - 4,8) = 120,4 \text{ мм}^2.$$

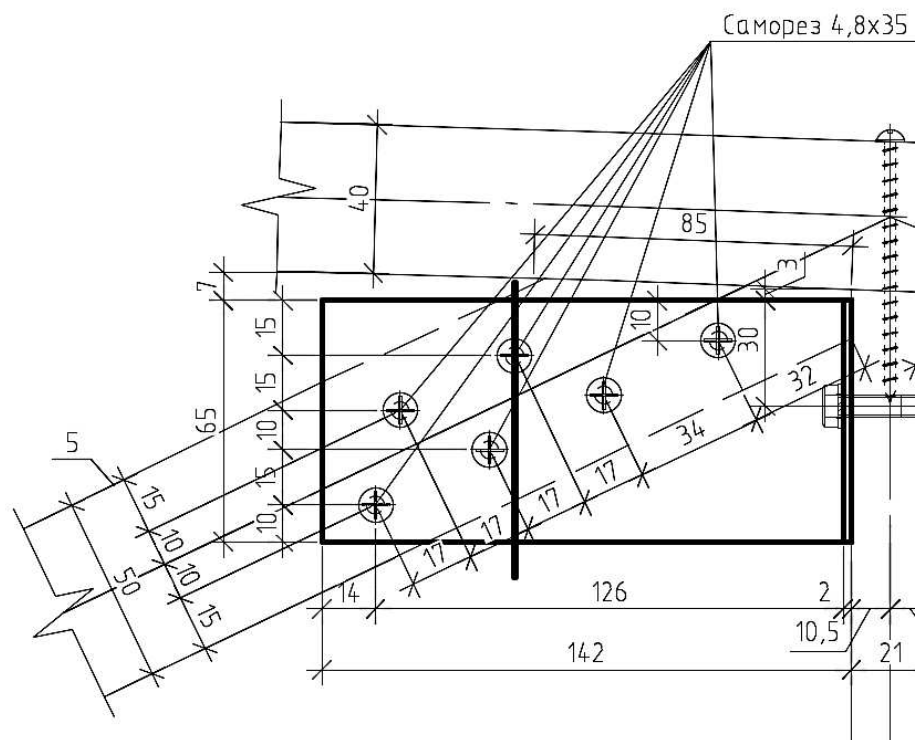


Рисунок 2.8.2.6 – Схема расположения ослабленного сечения гнутой пластины

$$\frac{N_{pp\text{сум}}}{A_n R_y \gamma_c} = \frac{3407,73}{120,4 \cdot 225 \cdot 1,1} = 0,11 < 1 \Rightarrow \text{прочность пластины обеспечена. Запас}$$

прочности составляет 89 %. Уменьшение толщины пластины с целью экономии стали не является рациональным, т.к. необходимо предусмотреть снижение толщины во время эксплуатации из-за возможной коррозии.

Расчет стойки (распорки) на устойчивость

Стойки, установленные между поясами, могут потерять устойчивость из своей плоскости. Условие устойчивости стойки выполняется по формуле:

$$\frac{N_{cm}}{\varphi A_{cm}} \leq R_{ф.с.}, \quad (2.8.2.18)$$

где N_{cm} – расчетная продольная сила, кН;

$R_{ф.с.}$ – расчетное сопротивление строительной фанеры сжатию, кПа;

A_{cm} – площадь опирания стойки, м²;

φ – то же, что в формуле (2.3.1).

Расчетное сопротивление строительной фанеры, кПа, определяется по формуле:

$$R_{ф.с.} = R_{ф.с.}^A \cdot m_{ол} \cdot \prod m_i, \quad (2.8.2.19)$$

где $R^A_{ф.с.}$ – расчетное сопротивление строительной фанеры из древесины лиственницы при действии силы вдоль наружных слоев, $R^A_{ф.с.} = 26000 \text{ кПа}$;
 $m_{дл}$ – то же, что в формуле (2.3.4), $m_{дл} = 1$;
 Πm_i – произведение условий работы, $\Pi m_i = 1$.

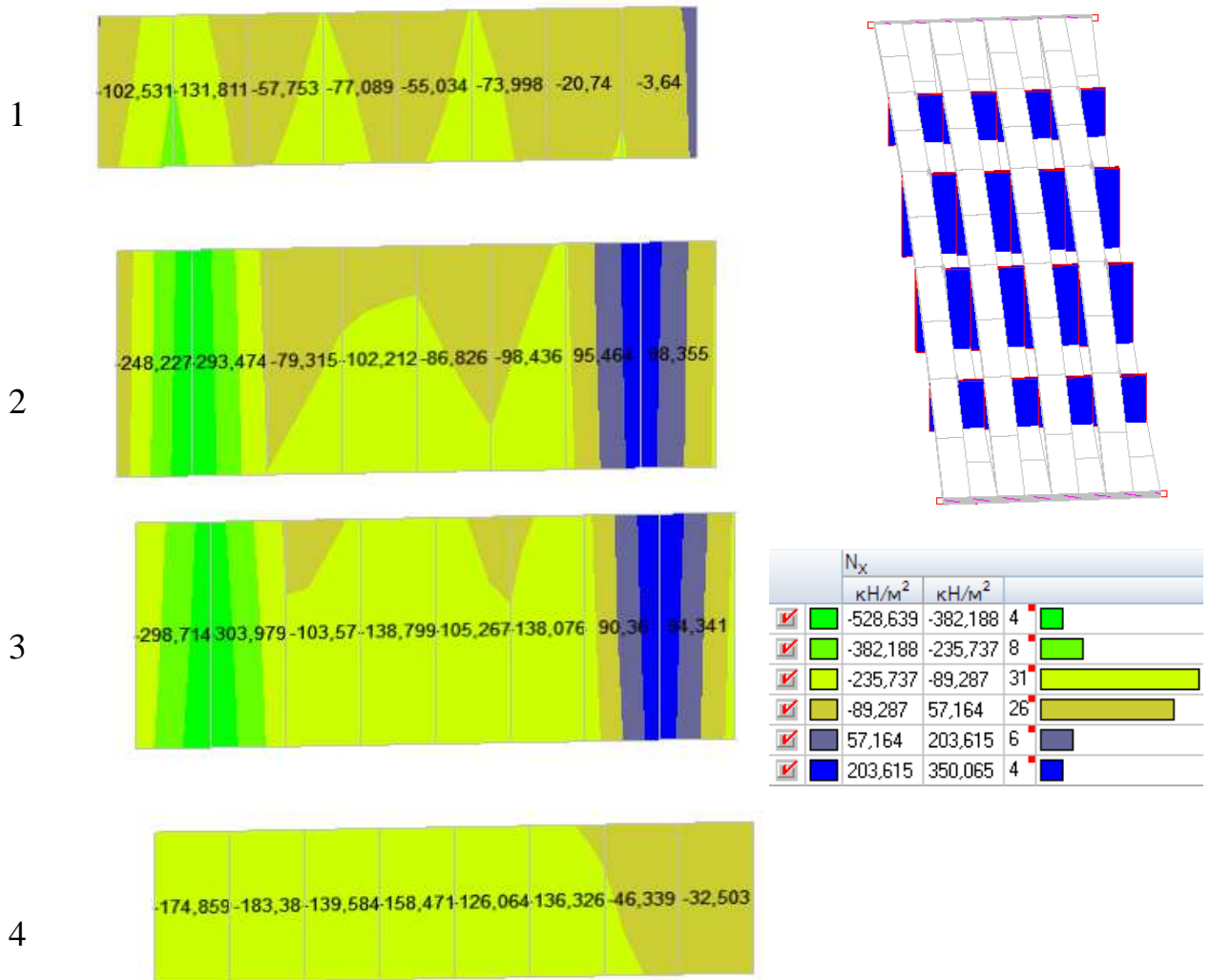


Рисунок 2.8.2.7 – Поля напряжений в стойках N_x , кН/м²

Расчетная продольная сила $N_{см}$, кН, сжимающая стойку, условно принята как произведение максимального сжимающего усилия в стойке (рис. 2.8.2.7), распределенного на сечение элемента стойки $A_{сегм.см}$, на площадь сечения сегмента и количество элементов верхнего пояса, сжимающих стойку (площадь опирания на стойку):

$$N_{см} = N_{см.макс} \cdot A_{сегм.см} \cdot 4 = N_{см.макс} \cdot A_{см}, \quad (2.8.2.20)$$

где $N_{см.макс}$ – максимальное продольное усилие в сегменте (по модулю), распределенное на площадь сечения сегмента, $N_{см.макс} = 510,549 \text{ кН/м}^2$;

$A_{сегм.см}$ – площадь сечения сегмента, определяется по формуле:

$$A_{\text{сегм.ст.}} = b_{\delta} \cdot t_{\text{ст.}}, \quad (2.8.2.21)$$

где b_{δ} – то же, что в формуле (2.1.3), $b_{\delta} = 165$ мм;

$t_{\text{ст.}}$ – толщина стойки, $t_{\text{ст.}} = 21$ мм;

$A_{\text{ст.}}$ – площадь опирания элементов верхнего пояса на стойку, определяется по формуле:

$$A_{\text{ст.}} = A_{\text{сегм.ст.}} \cdot 4 \quad (2.8.2.22)$$

Определим площадь сегмента, мм^2 , наименьший момент инерции сечения стойки, мм^4 и радиус инерции, мм :

$$A_{\text{сегм.ст.}} = t_{\text{ст.}} \cdot b_{\delta} = 21 \cdot 165 = 3465 \text{ мм}^2.$$

$$J = \frac{b_{\delta} \cdot 4 \cdot t_{\text{ст.}}^3}{12} = \frac{165 \cdot 4 \cdot 21^3}{12} = 509355 \text{ мм}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{A_{\text{сегм.ст.}} \cdot 4}} = \sqrt{\frac{509355}{3465 \cdot 4}} = 6,062 \text{ мм}.$$

Гибкость определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{l_{\text{рст.}} \cdot \mu_0}{r}, \quad (2.8.2.23)$$

где $l_{\text{рст.}}$ – максимальная расчетная длина (высота) стойки, $l_{\text{рст.}} = 566$ мм.

$$\lambda = \frac{l_{\text{рст.}} \cdot \mu_0}{r} = \frac{566 \cdot 1}{6,06} = 93,4.$$

При гибкости раскоса $\lambda > 70$ коэффициент продольного изгиба определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2}, \quad (2.8.2.24)$$

где $A = 2500$ для фанеры;

λ – то же, что в формуле (2.8.2.23).

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} = \frac{2500}{93,4^2} = 0,287.$$

Площадь опирания на стойку, m^2 , и расчетное сжимающее усилие, действующее на стойку, равны

$$A_{cm} = A_{сезм.см} \cdot 4 = 3465 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 0,014 m^2.$$

$$N_{cm} = N_{cm,max} \cdot A_{cm} = 528,639 \cdot 0,014 = 7,401 кН.$$

Расчетное сопротивление строительной фанеры равно

$$R_{ф.с.} = R_{ф.с.}^A \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i = 26000 \cdot 1 \cdot 1 = 26000 кПа.$$

$$\frac{N_{cm}}{\varphi A_{cm}} = \frac{7,401}{0,287 \cdot 0,014} = 1842 кПа < R_{ф.с.} = 26000 кПа \Rightarrow$$

\Rightarrow условие выполняется, устойчивость стойки обеспечена. Запас устойчивости равен 93 %.

Расчет стойки (распорки) на прочность

Стойки, установленные между поясами, могут потерять прочность при центральном сжатии. Условие прочности выполняется по формуле:

$$\frac{N_{cm}}{A_{cm}} \leq R_{ф.с.}, \quad (2.8.2.25)$$

где N_{cm} – то же, что в формуле (2.8.2.18);

A_{cm} – то же, что в формуле (2.8.2.18);

$R_{ф.с.}$ – то же, что в формуле (2.8.2.18).

$$\frac{N_{cm}}{A_{cm}} = \frac{7,401}{0,014} = 528,6 кПа < R_{ф.с.} = 26000 кПа \Rightarrow$$

\Rightarrow условие выполняется, прочность стойки обеспечена.

Выполним перерасчет схемы с учетом новых сечений. Сравнение изменения максимальных перемещений и усилий в элементах конструкции представлено в табл. 14.

Анализируя таблицу, можно сделать вывод, что изменения значений расчетных усилий весьма незначительны и не превышают запасов прочности, жесткости и устойчивости, полученных при расчетах, следовательно, повторная проверка всех условий не требуется.

Таблица 14 – Сравнение перемещений и усилий после изменения сечений

Наименование параметра	ЛПП до перерасчета	ЛПП после перерасчета	Δ , %
1	2	3	4
Максимальные перемещения по Z , мм, от комбинации нагрузок С1	-27,693	-27,43	0,950
Максимальные перемещения по Z , мм, от комбинации нагрузок С2	-28,23	-27,969	0,925
Максимальные сжимающие усилия в верхнем поясе, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С2, $кН/м^2$	-2888,322	-2850,141	1,322
Максимальные растягивающие усилия в нижнем поясе, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С2, $кН/м^2$	2327,921	2315,413	0,537
Максимальные распределенные сжимающие усилия в шарнирно-подвижной опоре, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С2, $кН/м^2$	-2888,322	-2700,044	6,519
Максимальные распределенные растягивающие усилия в шарнирно-неподвижной опоре, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С2, $кН/м^2$	2109,096	2135,949	1,257
Максимальные значения перерезывающей силы Q_y , $кН$, в трубе при шарнирно-неподвижной опоре от комбинации нагрузок С2	7,42	7,5	1,067
Максимальные сжимающие усилия в раскосах от комбинации нагрузок С2, $Н$	-2388,033	-2753,058	-15,286
Максимальные растягивающие усилия в раскосах от комбинации нагрузок С2, $Н$	2929,63	3215,678	-9,764
Максимальные нормальные напряжения в центрах стоек от комбинации нагрузок С2, $кН/м^2$	-528,639	-453,961	14,126

2.9 Определение коэффициента подобия для уменьшенной испытательной модели

Моделированием называется замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели. Моделирование применяется обычно в тех случаях, когда исследование непосредственно на натурном объекте затруднительно либо опасно.

Физической моделью может считаться установка, в которой осуществлено полное или неполное моделирование и соответственно физическое подобие, благодаря чему по характеристикам модели можно

получать все существенные для данной задачи характеристики натурального объекта умножением на масштабные коэффициенты. Физическая модель отличается от натурального объекта своими размерами, но процессы, совершающиеся в ней, по своей природе не отличаются от процессов, происходящих в природе (то есть это копия физически реальной системы).

Критерии подобия процесса могут быть найдены, если известно его математическое описание или хотя бы та совокупность параметров, которой в данной задаче и в данных условиях можно характеризовать изучаемое явление [10]. С точки зрения использования методов теории подобия явление напряженно-деформированного состояния линзообразной плиты покрытия можно отнести к явлению второй группы [11] – явления, изученного настолько, что имеется возможность лишь перечислить физические величины, существенные для данного явления. Таковыми величинами являются:

– Линейные размеры, подобие которых выражает коэффициент подобия геометрических параметров:

$$k_{\text{под.л}} = \frac{L}{L_n} = \frac{B}{B_n} = \frac{H}{H_n} = \frac{t_\delta}{t_{\delta.м}} = \frac{b_\delta}{b_{\delta.м}}, \quad (2.9.1)$$

где L , B и H – геометрические размеры конструкции натуральной величины;

L_n , B_n и H_n – геометрические размеры уменьшенной модели;

t_δ и b_δ – геометрические размеры сечения элементов поясов конструкции натуральной величины;

$t_{\delta.м}$ и $b_{\delta.м}$ – геометрические размеры сечения элементов поясов уменьшенной конструкции;

– Максимальные прогибы;

– Максимальные усилия.

Как было сказано в п. 2.4, определяющей проверкой конструкции плиты является проверка на жесткость. Следовательно, определяющим критерием подобия является критерий одинаковой жесткости [12]:

$$\frac{f}{L} = \frac{f_m}{L_m}, \quad (2.9.2)$$

где f и f_n – максимальные прогибы конструкции натуральной величины и уменьшенной конструкции соответственно;

L и L_n – то же, что в формуле (2.9.1).

Назначим коэффициент подобия геометрических параметров для изготовления уменьшенной модели плиты, предназначенной для натуральных испытаний. В соответствии с наличием необходимых материалов коэффициент подобия равен $k_{\text{под.л}} = 3,33$. Соответственно, размеры уменьшенной модели будут составлять: длина $L_n = 1,8$ м, ширина $B_n = 0,4$ м, конструктивная высота $H_n = 0,18$ м. Сечение элементов поясов 12x50 мм (рейки). Сечение раскосов

25x25 мм. Толщина стоек $t_{ст.н} = 21$ мм выбрана без привязки к коэффициенту подобия исходя из конструктивных соображений (удобства крепления к поясам).

Совмещая формулы (2.9.1) и (2.9.2), выведем следующее соотношение:

$$f_m = \frac{f \cdot L_m}{L} = \frac{f}{k_{под.л.}} \quad (2.9.3)$$

Зная, что максимальный прогиб конструкции натуральной величины равен $f = Z_{max} = -28,021$ мм (см. п. 2.2), найдем максимальный прогиб уменьшенной конструкции из формулы (2.9.3):

$$Z_{max..м.} = f_m = \frac{f}{k_{под.л.}} = \frac{-28,021}{3,33} = 8,4063 \text{ мм.}$$

Проверим способность элемента пояса прогнуться на величину, равную сумме половины величины конструктивного выгиба (начального выгиба $f_{0..м} = H_m / 2 = 180 / 2 = 90$ мм) и величины найденного максимального выгиба по аналогии с п. 2.5: в соответствии с формулой (2.5.2) найдем максимальный прогиб, на который способна прогнуться рейка толщиной $t_{д..м} = 12$ мм из того же материала, что и доска конструкции в натуральную величину:

$$f_{max..м} \leq \frac{5l^2 R_{II}}{24Et_d} = \frac{5 \cdot 1800^2 \cdot 19,5}{24 \cdot 10000 \cdot 12} = 109,7 \text{ мм} - \text{максимальный прогиб рейки}$$

толщиной $t_{д..м} = 12$ мм, по достижении которого она сломается. В соответствии с критерием подобия при принятом начальном выгибе $f_{0..м} = 90$ мм элементы пояса должны прогнуться на $|f_m| = 8,41$ мм, то есть суммарный прогиб равен

$$f_{сум..м} = f_{0..м} + Z_{max..м} = 90 + 8,41 = 98,41 \text{ мм} < f_{max..м} = 109,7 \text{ мм} \Rightarrow$$

\Rightarrow элементы поясов уменьшенной модели плиты не сломаются как при начальном выгибе, так и при дальнейшем прогибе от наименее выгодной комбинации нагрузок С2, заданном по критерию подобия.

Зададим расчетную схему уменьшенной модели конструкции в ПК SCAD, отмасштабировав расчетную схему модели натуральной величины с масштабным коэффициентом $k = \frac{1}{k_{под.л.}} = \frac{1}{3,33} = 0,3$ и приняв новые сечения

элементов. Пересчитаем значение нагрузки, моделирующей начальные напряжения, возникающие в рейках из-за их начального изгиба, в соответствии с формулой (2.1.2), предварительно найдя момент инерции сечения рейки по аналогии с формулой (2.1.3):

$$J_{.m} = \frac{b_{\partial.m} t_{\partial.m}^3}{12} = \frac{50 \cdot 12^3}{12} = 7200 \text{ мм}^4.$$

$$q_{.m} = \frac{384 \cdot f_{0.m} \cdot E \cdot J_{.m}}{5 \cdot L_{.m}^4} = \frac{384 \cdot 90 \cdot 10000 \cdot 7200}{5 \cdot 1800^4} = 0,0474 \text{ Н / мм} = 47,407 \text{ Н / м}.$$

Зададим полученное значение равномерно-распределенной нагрузки как загрузку, приведя нагрузку из распределенной по длине в распределенную по площади:

$$q_{50} = q_{.m} / b_{\partial.m} = 47,407 / 0,05 = 948 \text{ Н / м}^2 = 0,948 \text{ кН / м}^2.$$

Значение нагрузки, распределенной на площадь, не изменилось по сравнению с нагрузкой, моделирующей начальные напряжения для полноразмерной модели. Это связано с тем, что с изменением геометрических размеров конструкции изменилась площадь действия распределенной нагрузки, но ее значение осталось тем же.

Проанализируем формулы максимального прогиба для полномасштабной и уменьшенной конструкции, введя в них коэффициент подобия. Запишем формулу (2.1.1) для полномасштабной плиты:

$$f = \frac{5 \cdot q^{\text{кН/м}} \cdot l_n^4}{384 \cdot E \cdot J}, \quad (2.9.4)$$

где l_n – то же, что в формуле (2.1.1);

$q^{\text{кН/м}}$ – равномерно-распределенная нагрузка по длине полноразмерной плиты;

E – то же, что в формуле (2.1.1);

J – то же, что в формуле (2.1.1), определяется по формуле (2.1.3).

Объединим формулы (2.9.4) и (2.1.3):

$$f = \frac{5 \cdot q^{\text{кН/м}} \cdot l_n^4 \cdot 12}{384 \cdot E \cdot t_{\partial}^3 \cdot b_{\partial}}. \quad (2.9.5)$$

Используя формулу (2.9.1), запишем следующие соотношения:

$$\begin{cases} l_n = k_{\text{под}} \cdot l_{.m} \\ b_{\partial} = k_{\text{под}} \cdot b_{\partial.m} \\ t_{\partial} = k_{\text{под}} \cdot t_{\partial.m} \end{cases} \quad (2.9.6)$$

где $l_{.m}$, $b_{\partial.m}$ и $t_{\partial.m}$ – соответственно длина элемента пояса, ширина и высота его сечения.

Подставим соотношения (2.9.6) в уравнение (2.9.5):

$$f = \frac{5 \cdot q^{\kappa H/M} \cdot l_M^4 \cdot k_{\text{под}}^4 \cdot 12}{384 \cdot E \cdot k_{\text{под}}^3 \cdot t_{\text{д.м}}^3 \cdot k_{\text{под}} \cdot b_{\text{д.м}}} = \frac{5 \cdot q^{\kappa H/M} \cdot l_M^4 \cdot 12}{384 \cdot E \cdot t_{\text{д.м}}^3 \cdot b_{\text{д.м}}} \quad (2.9.7)$$

Приведем распределенную по длине полномасштабной плиты нагрузку $q^{\kappa H/M}$ в распределенную по площади нагрузку $q^{\kappa H/M^2}$:

$$q^{\kappa H/M^2} = q^{\kappa H/M} / b_{\text{д.м}} \quad (2.9.8)$$

Запишем уравнение, аналогичное (2.9.5), для уменьшенной модели:

$$f_M = \frac{5 \cdot q_M^{\kappa H/M} \cdot l_M^4 \cdot 12}{384 \cdot E \cdot t_{\text{д.м}}^3 \cdot b_{\text{д.м}}}, \quad (2.9.9)$$

где $q_M^{\kappa H/M}$ – равномерно-распределенная нагрузка по длине уменьшенной модели плиты;

l_M , $b_{\text{д.м}}$ и $t_{\text{д.м}}$ – то же, что в формуле (2.9.6).

Приведем распределенную по длине уменьшенной модели плиты нагрузку $q_M^{\kappa H/M}$ в распределенную по площади нагрузку $q_M^{\kappa H/M^2}$:

$$q^{\kappa H/M^2} = q_M^{\kappa H/M} / b_{\text{д.м}} \quad (2.9.10)$$

Приравняем формулы (2.9.8) и (2.9.10) и подставим соотношение (2.9.6):

$$q^{\kappa H/M} / (b_{\text{д.м}} \cdot k_{\text{под}}) = q_M^{\kappa H/M} / b_{\text{д.м}}$$

или

$$q^{\kappa H/M} = q_M^{\kappa H/M} \cdot k_{\text{под}} \quad (2.9.11)$$

Подставим формулу (2.9.11) в (2.9.7):

$$f = \frac{5 \cdot q_M^{\kappa H/M} \cdot k_{\text{под}} \cdot l_M^4 \cdot 12}{384 \cdot E \cdot t_{\text{д.м}}^3 \cdot b_{\text{д.м}}}$$

или, с учетом формулы (2.9.9),

$$f = f_M \cdot k_{\text{под}} \quad (2.9.12)$$

Таким образом, была доказана правильность формулы (2.9.2). Следовательно, значение нагрузки, распределенной по площади элемента, не изменится из-за изменения размеров в соответствии с коэффициентом подобия. Изменится лишь площадь приложения нагрузки. Не изменятся значения снеговой нагрузки, нагрузки от утеплителя и покрытия и нагрузки, моделирующей начальные напряжения, так как эти нагрузки распределены по площади элементов. Изменится нагрузка от собственного веса плиты, как распределенная по объему элементов, причем не все элементы плиты были изменены в соответствии с коэффициентом подобия, а лишь те, которые существенно влияют на ее жесткость. Также существует некоторая погрешность, связанная с пространственной работой конструкции и ортотропностью материалов. Коэффициент подобия будем находить для снеговой нагрузки, так как именно ее действие будет моделироваться в испытаниях.

Выполним расчет по 2-ому предельному состоянию, подбирая коэффициент подобия по нагрузке от собственного веса и добиваясь максимального прогиба расчетной схемы на $Z_{max.m} = f_m = 8,406 \text{ мм}$. В первом приближении назначим элементам сечения, пропорциональные коэффициенту подобия линейных параметров:

- Для элементов поясов сечение $12 \times 50 \text{ мм}$;
- Для стоек $t_{ст.м} = 6 \text{ мм}$;
- Для раскосов сечение $6 \times 15 \text{ мм}$;
- Для поперечного стержня сечение круглой трубы $12 \times 1 \text{ мм}$.

Результаты расчета представлены на рис. 2.9.1.

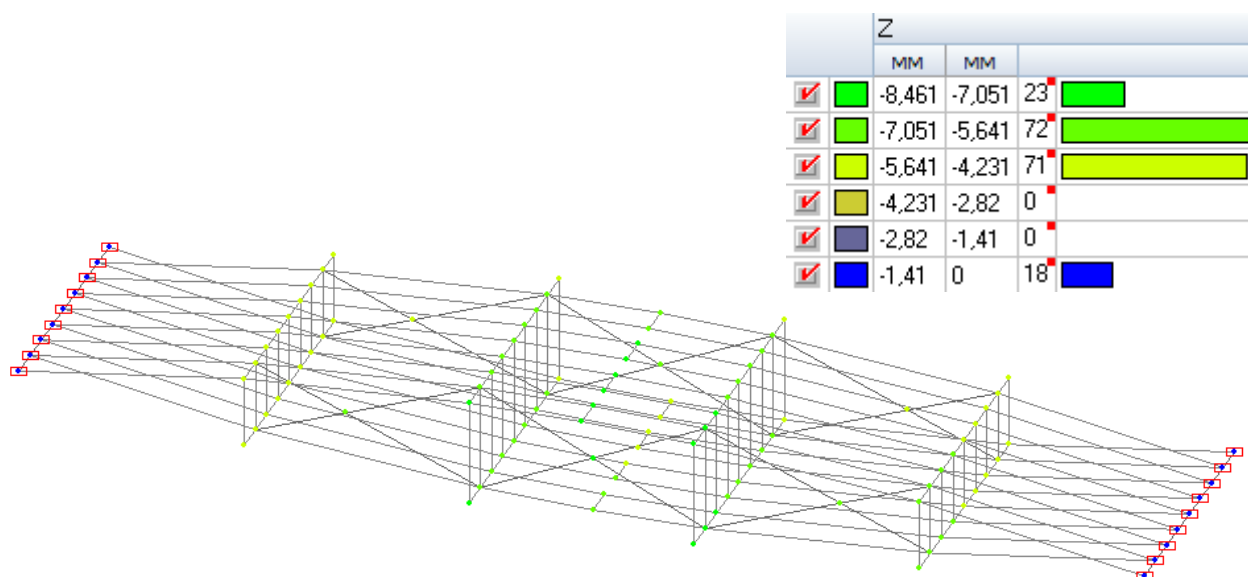


Рисунок 2.9.1 – Вертикальные перемещения уменьшенной модели плиты от действия комбинации нагрузок С2 с уменьшенными сечениями по k_{nod} и коэффициентом подобия по нагрузке, равном 1

Полученный максимальный прогиб равен $-8,461 \text{ мм}$, что больше максимального прогиба, найденного по формуле (2.9.3), на $0,055 \text{ мм}$.

Погрешность составляет $\Delta = \frac{8,461 - 8,4063}{8,461} \cdot 100\% = 0,65\%$. Погрешность минимальна.

Во втором приближении назначим элементам плиты сечения, принятые для изготовления:

- Сечение элементов поясов 12x50 мм;
- Сечение стоек $t_{ст.м} = 21$ мм;
- Сечение раскосов 25x25 мм;
- Сечение поперечного стержня – стальная шпилька $d12$ мм.

Результаты расчета представлены на рис. 2.9.2.

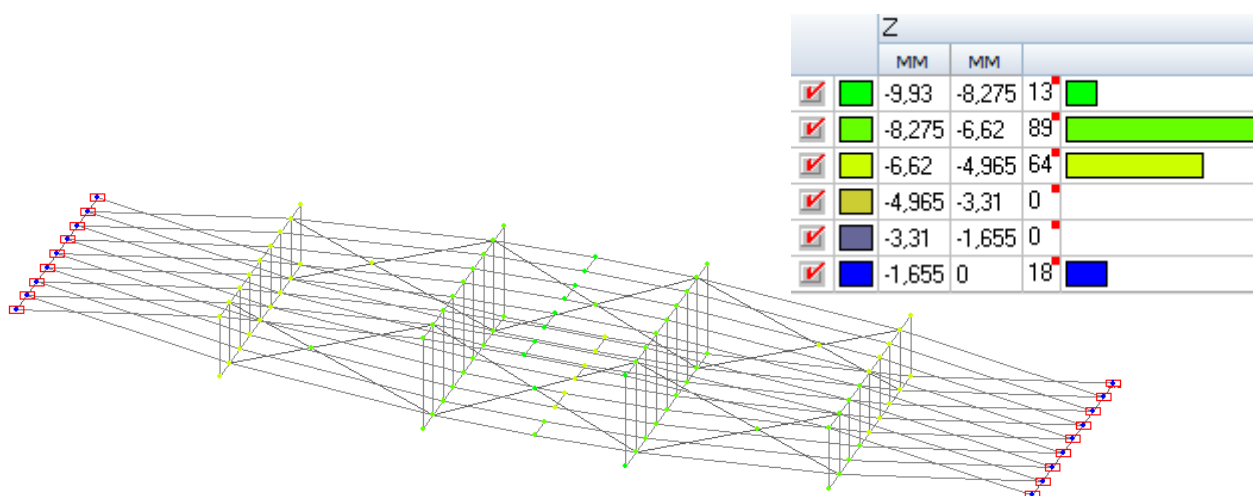


Рисунок 2.9.2 – Вертикальные перемещения уменьшенной модели плиты от действия комбинации нагрузок С2 с принятыми сечениями и коэффициентом подобия по нагрузке, равном 1

Полученный максимальный прогиб равен $-9,93$ мм, что больше максимального прогиба, найденного по формуле (2.9.3), на $1,5$ мм. Погрешность составляет $\Delta = \frac{9,93 - 8,4063}{9,93} \cdot 100\% = 15\%$.

Необходимо уменьшить абсолютное значение максимального прогиба на 15%, для этого назначим снеговой нагрузке понижающий коэффициент, равный $0,85$ (рис. 2.9.3), и выполним расчет в третьем приближении. Результаты расчета представлены на рис. 2.9.4.

	Загрузки/Комбинации	Коэффициент
1	св	1
2	снег 1	0
3	снег 2	0,85
4	утепл+покр	1
5	нач напр	1
6	(L1)*1+(L2)*1+(L4)*1+(L5)*1	0

Рисунок 2.9.3 – Значения коэффициентов для комбинации С2 с понижающим коэффициентом для односторонней снеговой нагрузки

Полученный максимальный прогиб равен $-8,527$ мм, что больше максимального прогиба, найденного по формуле (2.9.3), на $0,12$ мм. Погрешность составляет $\Delta = \frac{8,527 - 8,4063}{8,527} \cdot 100\% = 1\%$. Дальнейший расчет

элементов уменьшенной модели плиты на несущую способность будем производить с учетом понижающего коэффициента для односторонней снеговой нагрузки. Приведение нагрузки к испытательной также будет производиться с учетом этого коэффициента.

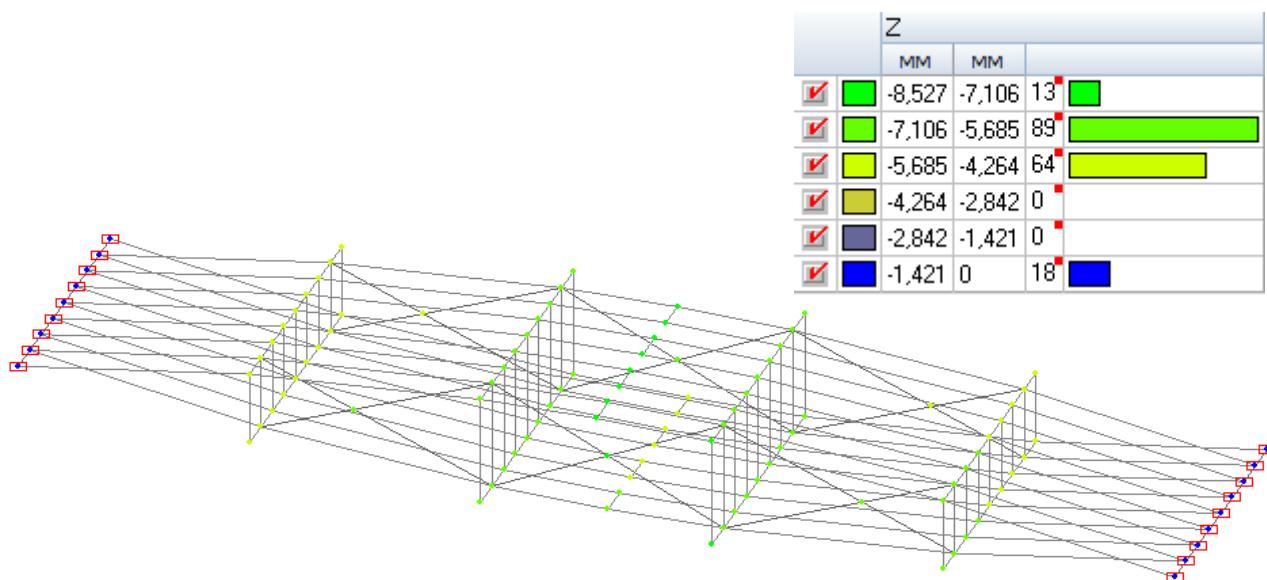


Рисунок 2.9.4 – Вертикальные перемещения уменьшенной модели плиты от С2 с принятыми сечениями и $k_{nod} = 1$

2.10 Проверка устойчивости, жесткости и прочности уменьшенной модели

Поля напряжений N_x , $кН/м^2$, полученные в результате расчета уменьшенной модели плиты в ПК SCAD по 1-ому предельному состоянию при действии наименее благоприятной комбинации нагрузок С2 с учетом понижающего коэффициента представлены на рис. 2.10.1.

Проверка устойчивости верхнего пояса

Выполним расчет сжато-изогнутого элемента верхнего пояса на устойчивость в плоскости действия равномерно-распределенной нагрузки по аналогии с п. 2.3 согласно формулам (2.3.1-2.3.14).

$$F_{op} = t_o \cdot b_o = 0,012 \cdot 0,05 = 0,0006 м^2.$$

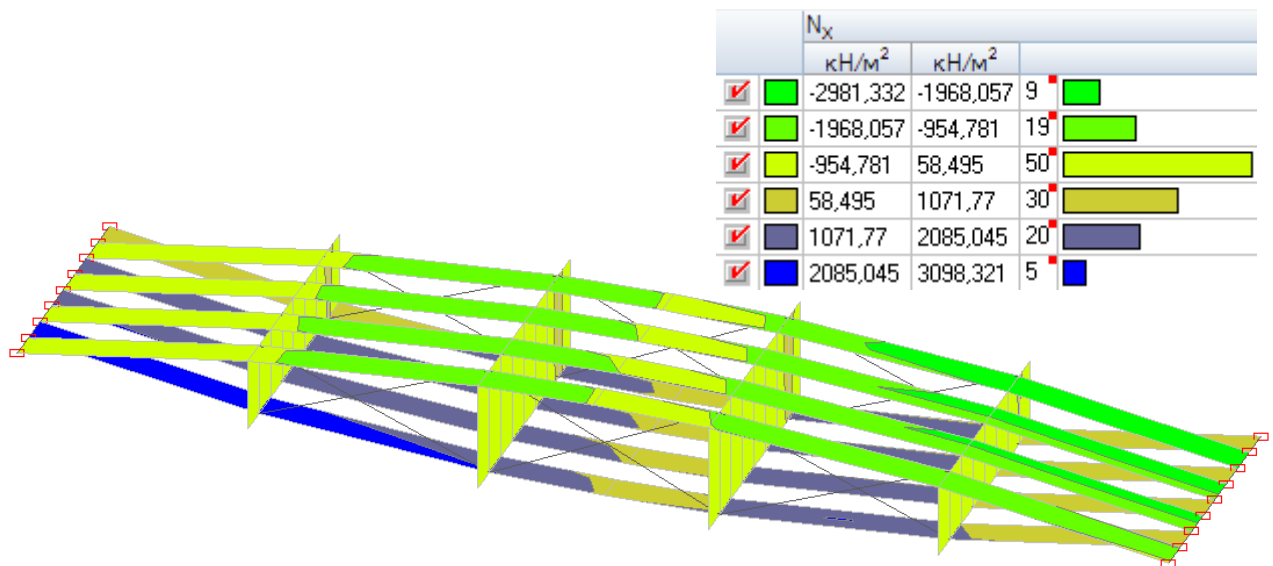


Рисунок 2.10.1 – Поля напряжений N_x , $кН/м^2$, в уменьшенной модели плиты при действии С2

В соответствии с рис. 2.10.1 $|N_{xc}| = 2981,332 \text{ кН/м}^2$, тогда

$$N_c = N_{xc} \cdot F_{\text{оп}} = 2981,332 \cdot 0,0006 = 1,79 \text{ кН.}$$

$$R_c = R_c^A m_{\text{ол}} \cdot \Pi m_i / \gamma_m = 19,5 \cdot 1 \cdot 1 = 19,5 \text{ МПа.}$$

$$R_{II} = R_{II}^A m_{\text{ол}} \cdot \Pi m_i = 19,5 \cdot 1 \cdot 1 = 19,5 \text{ МПа.}$$

$$W_{\text{оп}} = \frac{b_{\text{д}} t_{\text{д}}^2}{6} = \frac{0,05 \cdot 0,012^2}{6} = 0,0000012 \text{ м}^3.$$

$$r = \sqrt{\frac{J_m}{F_{\text{оп}}}} = \sqrt{\frac{7200 \cdot 10^{-12}}{0,0006}} = 0,0035 \text{ м.}$$

$$\lambda = \frac{l_p \cdot \mu_0}{r} = \frac{0,36 \cdot 0,65}{0,0035} = 67,55,$$

где l_p – свободная длина части элемента пояса уменьшенной модели (расстояние между распорками), м.

$$\varphi = 1 - a \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left(\frac{67,55}{100} \right)^2 = 0,635.$$

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi R_c F_{\text{оп}}} = 1 - \frac{1,79}{0,635 \cdot 19500 \cdot 0,0006} = 0,759.$$

В соответствии с рис. 2.10.2-2.10.5 определим расчетный изгибающий момент M в сечении, момент M_0 , коэффициент k_ϕ , зависящий от эпюры изгибающих моментов на участке l_p , и коэффициент φ_m для изгибаемых элементов прямоугольного постоянного поперечного сечения.

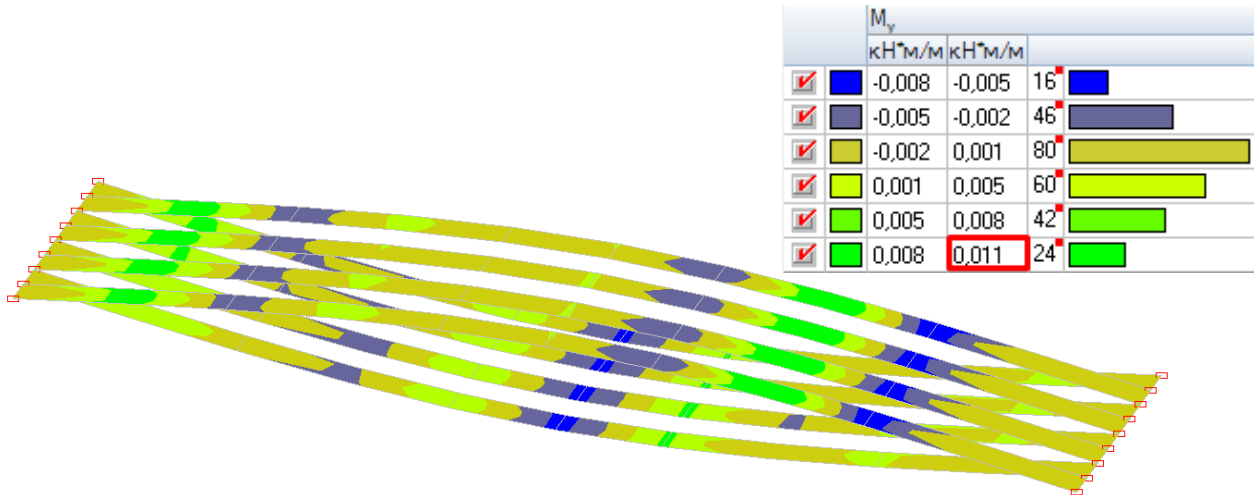


Рисунок 2.10.2 – Поля M_y в поясах уменьшенной модели от комбинации С2, $кНм/м$

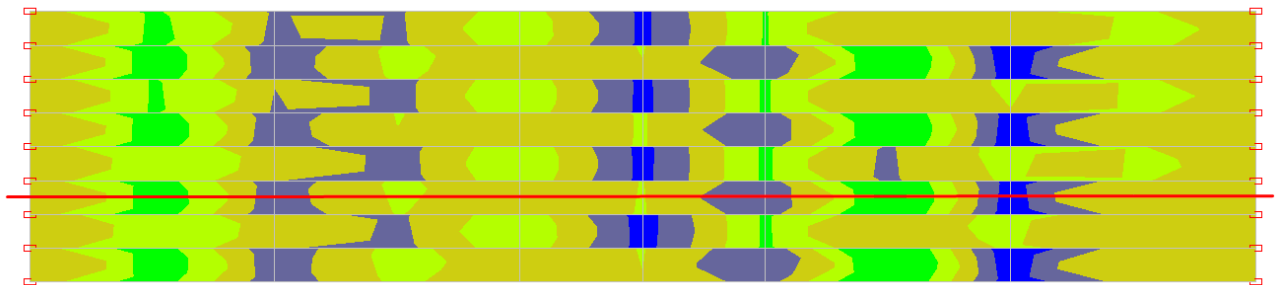


Рисунок 2.10.3 – Поля M_y в поясах уменьшенной модели от комбинации С2, $кНм/м$, вид сверху, и секущая для построения эпюр напряжений вдоль нее

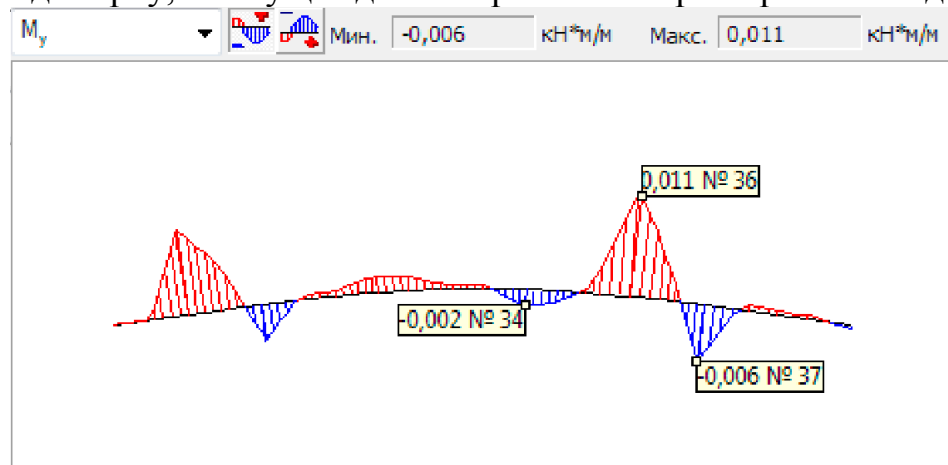


Рисунок 2.10.4 – Эпюры M_y от комбинации С2, $кНм/м$, вдоль секущей

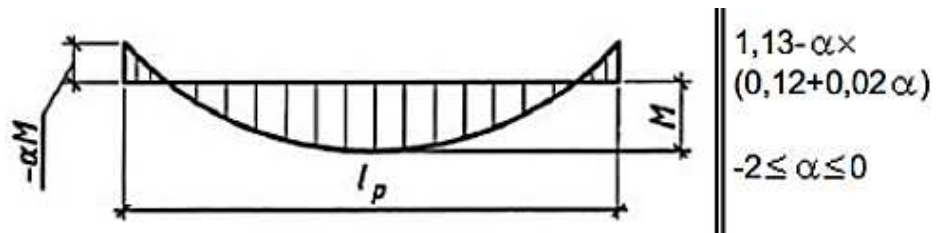


Рисунок 2.10.5 – Значение коэффициента k_ϕ при закреплении только по концам участка l_p

$$M = M_y \cdot b_\theta = 0,011 \cdot 0,05 = 0,00055 \text{ кНм.}$$

$$M_D = \frac{M}{\xi} = \frac{0,00055}{0,85} = 0,000651 \text{ кНм.}$$

$$k_\phi = 1,13 - \alpha \cdot (0,12 + 0,02\alpha) = 1,13 + 0,55 \cdot (0,12 - 0,02 \cdot 0,55) = 1,19,$$

где $\alpha = -\frac{0,008}{0,014} = -0,55$ [8, табл. Е.1].

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi = 140 \cdot \frac{0,05^2}{0,36 \cdot 0,012} \cdot 1,19 = 96,37.$$

$$\frac{N_c}{\varphi R_c F_{\text{оп}}} + \left(\frac{M_D}{\varphi_M R_H W_{\text{оп}}} \right)^n = \frac{1,79}{0,635 \cdot 19500 \cdot 0,0006} + \left(\frac{0,000651}{96,37 \cdot 19500 \cdot 0,0000012} \right)^2 = 0,241 < 1 \Rightarrow$$

\Rightarrow устойчивость сжатого элемента верхнего пояса обеспечена. Запас устойчивости составляет 76 %.

Проверка жесткости

С введением коэффициента подобия линейных параметров и критерия подобия жесткости предельный прогиб, определенный в п. 2.3 в соответствии с [7, табл. Д.1], изменится пропорционально коэффициенту подобия, т.е.

$$[f] = \frac{l_m}{200} = \frac{1800}{200} = 9 \text{ мм.}$$

Сравним максимальный прогиб уменьшенной модели плиты от комбинации С2 (нормативная нагрузка) (рис. 2.9.4) и предельный прогиб в соответствии с формулой (2.3.15):

$Z_{\max} = 8,527 \text{ мм} < [f] = 9 \text{ мм} \Rightarrow$ жесткость плиты обеспечена. Запас жесткости равен 6 %.

Проверка прочности верхнего пояса по нормальным напряжениям σ_x

Расчет сжато-изгибаемых элементов верхнего пояса по 1-ому предельному состоянию выполняем по аналогии с формулой (2.3.16), используя значения, найденные выше:

$$\frac{N_c}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_D}{W_{\text{расч}}} = \frac{1,79}{0,0006} + \frac{0,000651}{0,0000012} = 3526 \text{ кПа} = 3,53 \text{ МПа} < R_c = 19,5 \text{ МПа} \Rightarrow$$

\Rightarrow прочность по нормальным напряжениям обеспечена. Запас прочности составляет 82 %.

Проверка прочности нижнего пояса

Расчет растянуто-изгибаемых элементов нижнего пояса по 1-ому предельному состоянию выполняем по аналогии с формулой (2.3.17). Расчетное растягивающее усилие найдем по аналогии с формулой (2.3.18) и в соответствии с рис. 2.10.1:

$$N_p = N_{xp} \cdot F_{\text{бр}} = 3098,321 \cdot 0,0006 = 1,86 \text{ кН}.$$

$$\frac{N_p}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_D R_p}{W_{\text{расч}} R_{II}} = \frac{1,86}{0,0006} + \frac{0,000651 \cdot 9,4815}{0,0000012 \cdot 19,5} = 3372 \text{ кПа} = 3,37 \text{ МПа} < R_p = 9,48 \text{ МПа}$$

\Rightarrow прочность по нормальным напряжениям обеспечена. Запас прочности составляет 64 %.

2.11 Расчет и конструирование узлов уменьшенной модели

Чертежи плана и главного вида уменьшенной модели плиты покрытия с указанием расчетных узлов и их увеличенными изображениями представлены на Листах 5-6 Графической части (Приложение Ж).

2.11.1 Опорный узел

Опорный узел уменьшенной модели линзообразной плиты покрытия выглядит аналогично опорному узлу полноразмерной конструкции, за исключением того, что перемещения вдоль сквозного стержня и по длине ограничены постановкой гаек с обеих сторон, а также установкой упоров. Расположение болтов на торце элемента пояса показано на рис. 2.11.1.1.

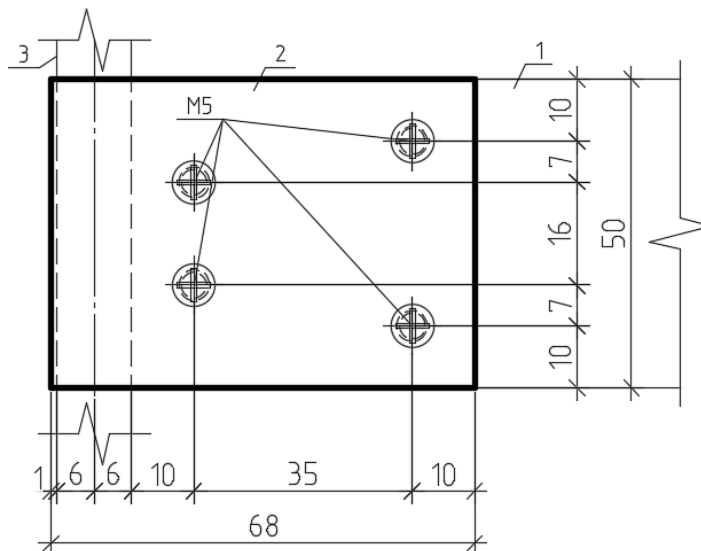


Рисунок 2.11.1.1 – Схема узла опирания:

1 – элементы поясов; 2 – гнутые пластины; 3 – стальная шпилька на торце плиты

Расчет болтового соединения

Выполним расчет болтового соединения по аналогии с п. 2.8 и формулами (2.8.1.1)-(2.8.1.4).

Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), $кН$, для стального нагеля при смятии в средних элементах равна

$$T = 0,75cd = 0,75 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 0,45 кН.$$

где $c = t_{d,m} = 1,2 см$ – толщина среднего элемента (элемента пояса);

$d = 0,5 см$ – диаметр нагеля.

Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), $кН$, для стального нагеля при его изгибе равна

$$\begin{cases} T = 2,2d^2 + 0,025a^2 = 2,2 \cdot 0,5^2 + 0,025 \cdot 0,1^2 = 0,55025 кН \\ T \leq 3,1d^2 = 3,1 \cdot 0,5^2 = 0,55 кН. \end{cases}$$

где $a = 0,1 см$ – толщина крайнего элемента (гнутой пластины).

За расчетную несущую способность нагельного соединения принимаем наименьшую из найденных:

$$T = T_{\min} = 0,45 кН.$$

Расчетное усилие N найдем аналогично формуле (2.8.1.4) в соответствии с рис. 2.11.1.2:

$$N = N_{x\max} \cdot F_{op} = 2047,295 \cdot 0,0006 = 1,23 кН.$$

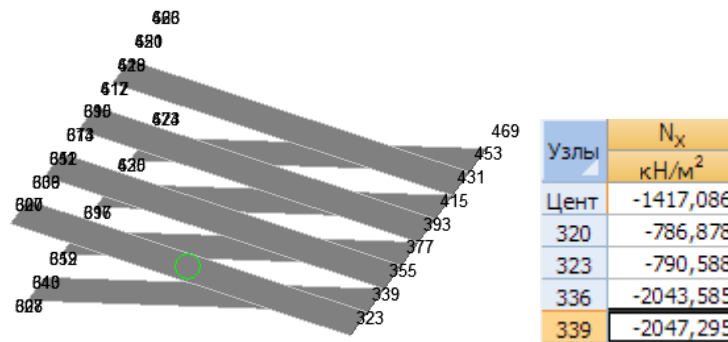


Рисунок 2.11.1.2 – Максимальные продольные растягивающие усилия в шарнирно-неподвижной связи уменьшенной модели плиты, кН/м²

Число нагелей в соединении найдем аналогично формуле (2.8.1.3):

$$n_n = \frac{N}{T \cdot n_{ш}} = \frac{1,23}{0,45 \cdot 2} = 2,9 \text{ шт.} \Rightarrow \text{при постановке нагелей (болтов) в количестве,}$$

равном 4 шт. > 2 шт., несущая способность соединения при смятии обеспечена.

В связи с тем, что в опорном узле уменьшенной модели конструктивные требования расстановки узлов невозможно выполнить в соответствии с прим. табл. 18 [8], было решено провести испытание узла с болтовым соединением на растяжение. Схема и результаты испытания описаны в п. 3.1.

Расчет гнутой пластины на центральное растяжение

Расчет стальной гнутой пластины на прочность при центральном растяжении производится по аналогии с формулой (2.8.1.5). Ослабленное сечение показано на рис. 2.11.1.3.

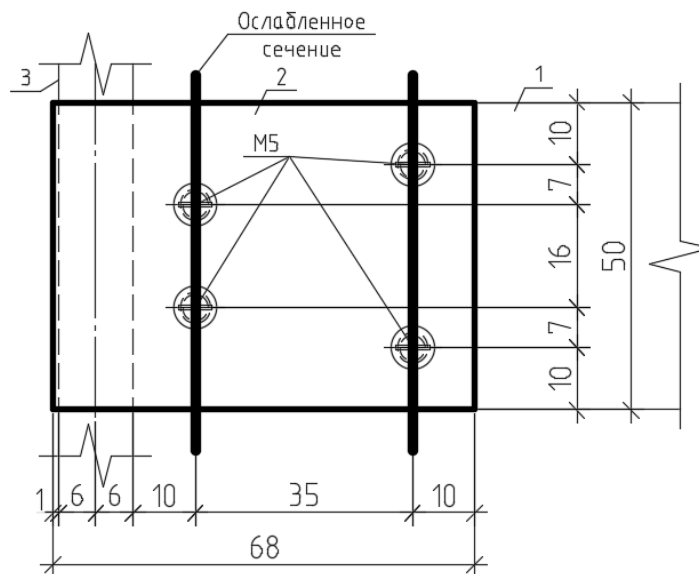


Рисунок 2.11.1.3 – Схема расположения ослабленного сечения гнутой пластины

Площадь сечения нетто, ослабленного болтами, определяется по аналогии с формулой (2.8.1.6):

$$A_n = t_{nl} \cdot b'_{nl} = 2 \cdot (0,001 \cdot (0,5 - 2 \cdot 0,005)) = 0,00008 \text{ м}^2.$$

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} = \frac{1,23}{0,00008 \cdot 225000 \cdot 1,1} = 0,062 < 1 \Rightarrow \text{прочность пластины}$$

обеспечена. Запас прочности составляет 94 %.

Расчет гнутой пластины на смятие болтами

Расчет крайних элементов наконечника (гнутой пластины) с пределом текучести до 400 МПа на смятие болтами класса точности А производится по аналогии с формулами (2.8.1.7)-(2.8.1.10):

$$\gamma_b = 0,4 \cdot a / d + 0,2 = 0,4 \cdot 10 / 5 + 0,2 = 1.$$

$$R_{bp} = 1,6 R_u = 1,6 \cdot 345000 = 552000 \text{ кПа}.$$

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 552000 \cdot 0,005 \cdot (0,001 \cdot 2) \cdot 1 \cdot 1,1 = 6,072 \text{ кН}.$$

$$\frac{N}{n} = \frac{1,23}{4} = 0,31 \text{ кН} < N_{bp} = 6,072 \text{ кН} \Rightarrow \text{прочность болтового соединения на}$$

смятие обеспечена. Запас прочности составляет 95 %.

Расчет болтового соединения на срез болтов

Для болтов класса прочности 5.6 расчет на срез производится по аналогии с формулами (2.8.1.11)-(2.8.1.13):

$$A_b = \pi R_b^2 = 3,14 \cdot 0,0025^2 = 0,00001963 \text{ м}^2.$$

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 210000 \cdot 0,00001963 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,1 = 9,07 \text{ кН}.$$

$$\frac{N}{n} = \frac{1,23}{4} = 0,31 \text{ кН} < N_{bs} = 9,07 \text{ кН} \Rightarrow \text{прочность болтового соединения на}$$

срез болтов обеспечена. Запас прочности составляет 97 %.

Расчет шпильки на сдвиг (срез)

По аналогии с расчетом поперечной трубы полноразмерной плиты покрытия на сдвиг (срез), рассчитаем шпильку: зададим расчетную схему по

аналогии с рис. 2.8.1.8 и приложим на нее равномерно-распределенную нагрузку от элементов поясов (рис. 2.8.1.4). Расчет значений усилий от элементов поясов для приложения нагрузки представлен в таблице 15.

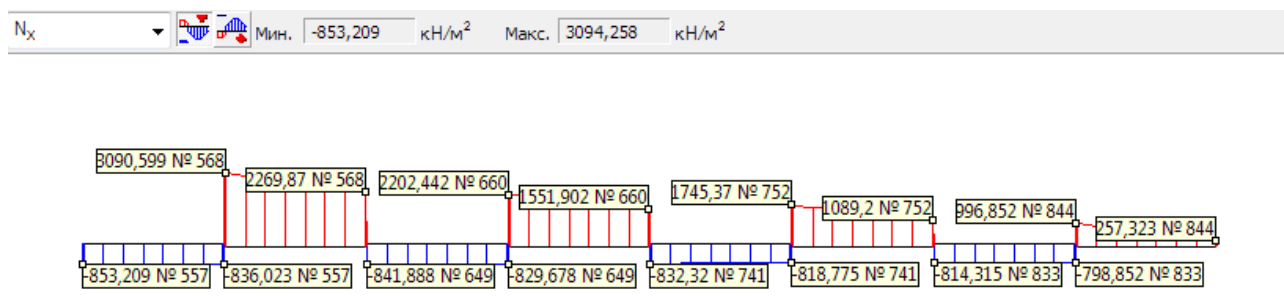


Рисунок 2.11.1.4 – Эпюра продольных усилий от поясов N_x , $кН/м^2$, распределенных на сечение, приходящихся на поперечную шпильку шарнирно-неподвижной опоры

Таблица 15 – Расчет продольных усилий для балочной расчетной схемы шпильки

№ элемента	N_{xi} , $кН/м^2$	α , град	$\cos \alpha$	Проекция N_{xi} на горизонталь, $кН/м^2$	q_i , $кН/м$
1	2	3	4	5	6
557	-853,209	11	0,982	-837,851	-10,054
	-836,023	11	0,982	-820,975	-9,852
568	3090,599	11	0,982	3034,968	36,420
	2269,87	11	0,982	2229,012	26,748
649	-841,888	11	0,982	-826,734	-9,921
	-829,678	11	0,982	-814,744	-9,777
	257,323	11	0,982	252,691	3,032
660	2202,442	11	0,982	2162,798	25,954
	1551,902	11	0,982	1523,968	18,288
741	-832,32	11	0,982	-817,338	-9,808
	-818,775	11	0,982	-804,037	-9,648
752	1745,37	11	0,982	1713,953	20,567
	1089,2	11	0,982	1069,594	12,835
833	-814,315	11	0,982	-799,657	-9,596
	-798,852	11	0,982	-784,473	-9,414
844	996,852	11	0,982	978,909	11,747
	257,323	11	0,982	252,691	3,032

Примечания: гр. 3 – угол наклона элемента пояса к горизонтали;

гр. 6 – проекция N_{xi} на горизонталь, умноженная на толщину элемента пояса t_d .

Т.к. ПК SCAD выдает усилия, действующие относительно местных осей элементов, то необходимо графу 2 умножить на графу 4.

Данная схема была задана в ПК SCAD (рис. 2.11.1.5): сечение балки было принято, как для арматуры класса А400 диаметром d_{12} мм. Нагрузка от усилий условно принята постоянной с коэффициентом надежности по нагрузке, равным $\gamma_f = 1$. Результаты расчета представлены на рис. 2.11.1.6-2.11.1.7.

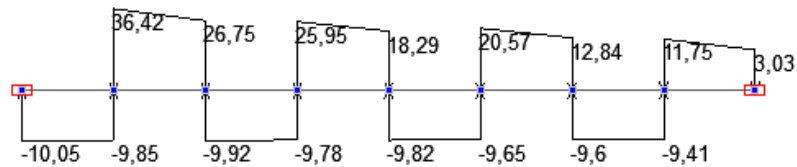


Рисунок 2.11.1.5 – Расчетная схема поперечной шпильки шарнирно-неподвижной опоры

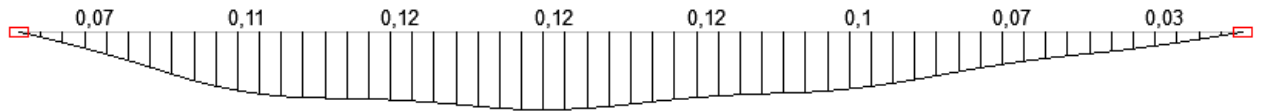


Рисунок 2.11.1.6 – Эпюра моментов M , $кНм$, в шпильке от усилий поясов

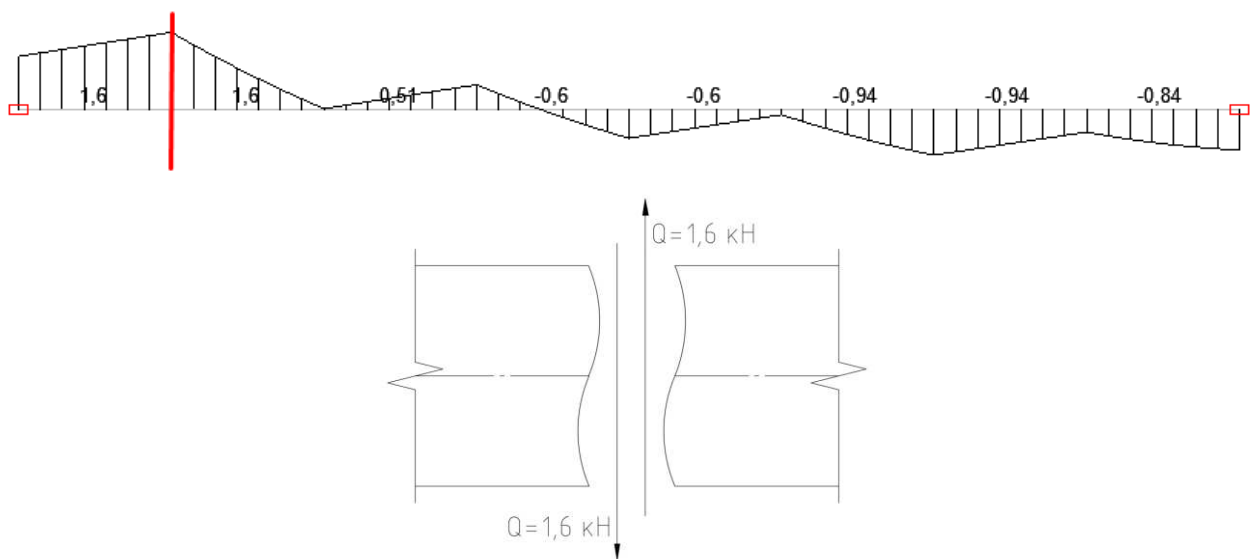


Рисунок 2.11.1.7 – Эпюра поперечных сил Q , $кН$, в шпильке от усилий поясов, и сечение в точке действия максимальной поперечной силы с указанием направления ее действия

Проверка прочности сечения шпильки на срез (сдвиг) выполняется по аналогии с формулами (2.8.1.14)-(2.8.1.15). При этом статический момент полусечения шпильки равен $S = 56,55 \text{ мм}^3$, момент инерции сечения $J = 1017,876 \text{ мм}^4$, $t_w = d = 12 \text{ мм}$, $R_{yn} = 235 \text{ МПа}$ для стали класса С235.

$$R_s = \frac{0,58 \cdot 235}{1,05} = 129,81 \text{ МПа.}$$

$$Q_y = (1,6 + 1,6) \cdot 1000 = 3200 \text{ Н.}$$

$\frac{Q_y \cdot S}{J \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{3200 \cdot 56,55}{1017,876 \cdot 12 \cdot 129,81 \cdot 1} = 0,11 < 1 \Rightarrow$ условие выполняется, прочность трубы на сдвиг обеспечена. Запас прочности равен 89 %.

Расчет шпильки на смятие

Выполним расчет шпильки на смятие по аналогии с формулами (2.8.2.16)-(2.8.1.22) и рис. 2.8.1.9. Максимальные продольные растягивающие усилия в шарнирно-неподвижной связи уменьшенной модели плиты, $кН/м^2$, представлены на рис. 2.11.1.8, максимальные продольные сжимающие усилия в шарнирно-подвижной связи - на рис. 2.11.1.9.

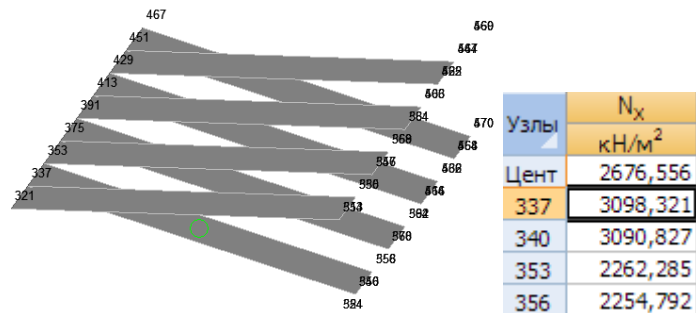


Рисунок 2.11.1.8 - Максимальные продольные растягивающие усилия в поясах возле шарнирно-неподвижной связи уменьшенной модели плиты

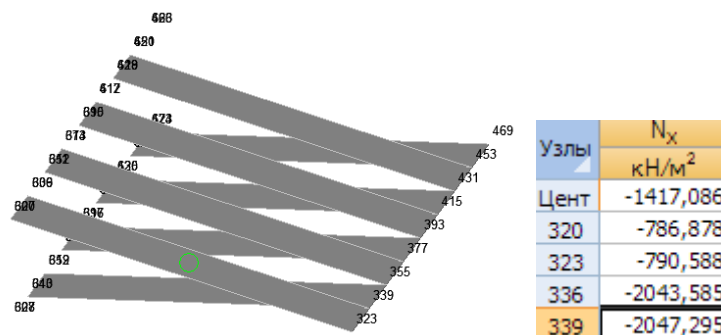


Рисунок 2.11.1.9 - Максимальные продольные сжимающие усилия в поясах возле шарнирно-подвижной связи уменьшенной модели плиты

$$A_{см}^{впояс} = t_{см} \cdot b_{\delta}, \quad (2.8.1.16)$$

где $A_{см}^{впояс}$ – площадь смятия от элемента верхнего пояса, $мм^2$;

$t_{см}$ – высота действия сжимающей силы, в соответствии с рис. 2.8.1.6 условно принимается равной 2 мм;

b_{δ} – то же, что в формуле (2.3.2);

$$A_{см}^{нпояс} = \frac{\pi D_m}{2} \cdot b_{\delta}, \quad (2.8.1.17)$$

где $A_{см}^{нпояс}$ – площадь смятия от элемента нижнего пояса, $мм^2$;

D_m – наружный диаметр трубы, мм;

b_{δ} – то же, что в формуле (2.3.2).

Условие прочности трубы на смятие при воздействии на нее элементов верхнего пояса выполняется по формуле:

$$\frac{N_{с\max}}{A_{с\max}} \leq R_{lp}, \quad (2.8.1.18)$$

где R_{lp} – расчетное сопротивление трубы на смятие, МПа;

$A_{с\max}$ – то же, что в формуле (2.8.1.16);

$N_{с\max}$ – максимальное расчетное сжимающее усилие на опоре, Н.

Условие прочности трубы на смятие при воздействии на нее элементов нижнего пояса выполняется по формуле:

$$\frac{N_{p\max}}{A_{с\max}} \leq R_{lp}, \quad (2.8.1.19)$$

где R_{lp} – то же, что в формуле (2.8.1.18);

$A_{с\max}$ – то же, что в формуле (2.8.1.16);

$N_{p\max}$ – максимальное расчетное растягивающее усилие на опоре, Н.

Расчетное сопротивление трубы на смятие R_{lp} определяется по формуле:

$$R_{lp} = \frac{0,5R_{un}}{\gamma_m}, \quad (2.8.1.20)$$

где R_{un} – временное сопротивление стали, кПа, для стали класса С235 $R_{un} = 360$ МПа;

γ_m – коэффициент надежности по материалу, $\gamma_m = 1,05$.

Максимальное расчетное сжимающее усилие на опоре определяется по формуле:

$$N_{с\max} = 1000 \cdot N_{с\max}^{распр} \cdot F_{бр}, \quad (2.8.1.21)$$

где $N_{с\max}^{распр}$ – расчетное сжимающее усилие на опоре, распределенное по площади сечения элемента верхнего пояса, кН/м² (рис. 2.11.1.9);

$F_{бр}$ – то же, что в формуле (2.3.1), м².

Максимальное расчетное растягивающее усилие на опоре определяется по формуле:

$$N_{p\max} = 1000 \cdot N_{p\max}^{распр} \cdot F_{бр}, \quad (2.8.1.22)$$

где $N_{p\max}^{распр}$ – расчетное растягивающее усилие на опоре, распределенное по площади сечения элемента нижнего пояса, кН/м² (рис. 2.11.1.8);

$F_{\bar{b}p}$ – то же, что в формуле (2.3.1), m^2 .

$$A_{cm}^{впояс} = t_{cm} \cdot b_{д.м} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ мм}^2.$$

$$N_{сmax} = 1000 \cdot N_{сmax}^{распр} \cdot F_{\bar{b}p} = 1000 \cdot 2047,295 \cdot 0,0006 = 1228,377 \text{ Н}.$$

$$R_{lp} = \frac{0,5 R_{un}}{\gamma_m} = \frac{0,5 \cdot 360}{1,05} = 171,43 \text{ МПа}.$$

$\frac{N_{сmax}}{A_{cm}^{впояс}} = \frac{1228,377}{100} = 12,28 \text{ МПа} < R_{lp} = 171,43 \text{ МПа} \Rightarrow$ прочность трубы на смятие элементами верхнего пояса обеспечена. Запас прочности равен 93 %.

$$A_{cm}^{нпояс} = \frac{\pi D_{шпильки}}{2} \cdot b_{д.м} = \frac{3,14 \cdot 12}{2} \cdot 50 = 942,48 \text{ мм}^2.$$

$$N_{pmax} = 1000 \cdot N_{pmax}^{распр} \cdot F_{\bar{b}p} = 1000 \cdot 3098,321 \cdot 0,0006 = 1859 \text{ Н}.$$

$$\frac{N_{pmax}}{A_{cm}^{нпояс}} = \frac{1589}{942,48} = 1,97 \text{ МПа} < R_{lp} = 171,43 \text{ МПа} \Rightarrow$$
 прочность трубы на смятие элементами нижнего пояса обеспечена.

Расчет шпильки на изгиб

Рассчитаем шпильку на изгиб (рис. 2.11.1.4) по аналогии с формулой (2.8.1.23):

$$\frac{M_{max}}{W_m \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{0,12}{0,0000012 \cdot 225000 \cdot 1} = 0,44 < 1 \Rightarrow$$
 условие выполняется. Запас прочности равен 56 %.

2.11.2 Узел крепления раскосов

В уменьшенной модели плиты покрытия было принято крепление раскосов при помощи вспомогательных брусков: раскос крепится к брускам при помощи саморезов через предварительно просверленные отверстия диаметром, равным $2/3$ диаметра самореза, во избежание скалывания, а бруски крепятся саморезами к стойкам. Оси раскосов, стоек и поясов пересекаются в одной точке. Узел опирания представлен на рис. 2.11.2.1.

Расчет раскоса на устойчивость

Расчет на устойчивость центрально-сжатого раскоса цельного сечения выполняется по аналогии с формулами (2.8.2.1)-(2.8.2.2), а также формулой (2.1.3), (2.3.13) и (2.3.12). Продольные усилия N в раскосах от комбинации С2

Геометрическая схема с указанием длин раскосов по их осям показана на рис. 2.11.2.3. Из рисунка видно, что свободная длина раскоса, в котором действуют максимальные сжимающие усилия, равна $l_p = 388 \text{ мм}$.

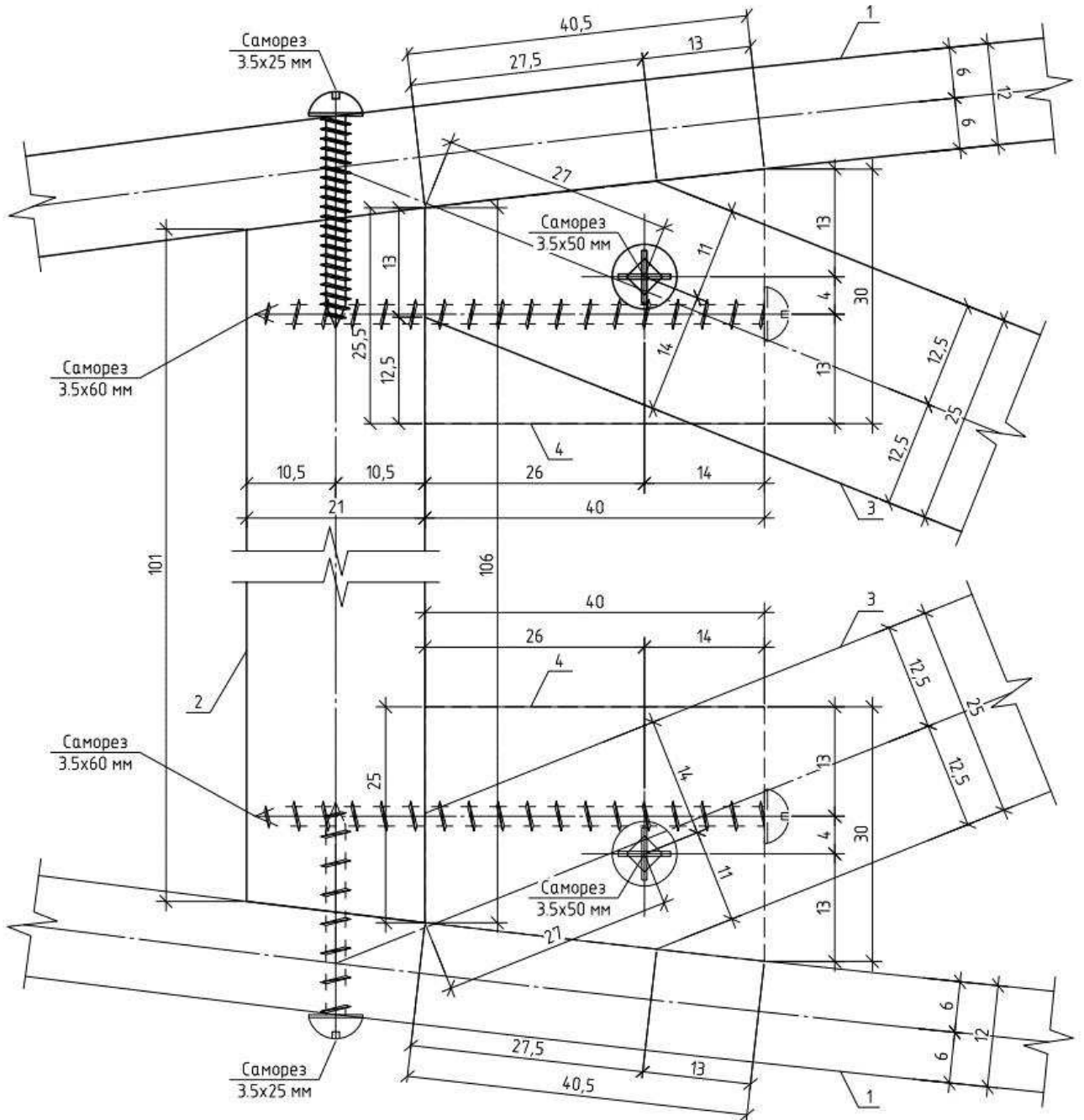


Рисунок 2.11.2.1 – Узел крепления раскосов к стойкам поясов:

1 – элементы поясов; 2 – стойка; 3 – раскосы; 4 – бруски

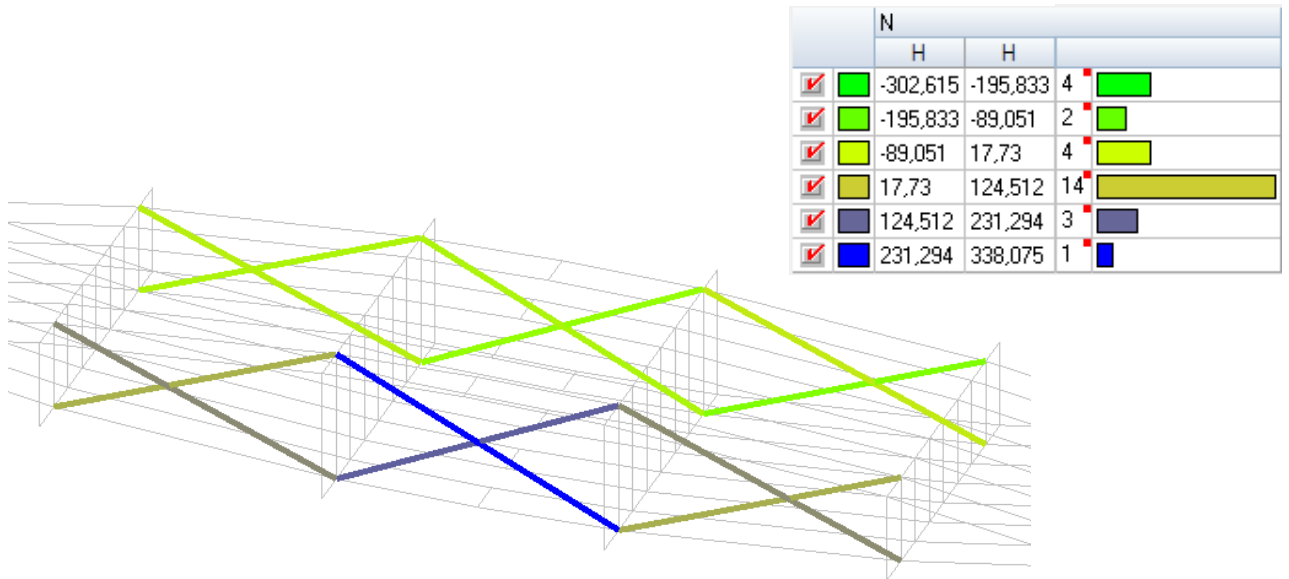


Рисунок 2.11.2.2 – Продольные усилия N , H , в раскосах от действия комбинации нагрузок С2

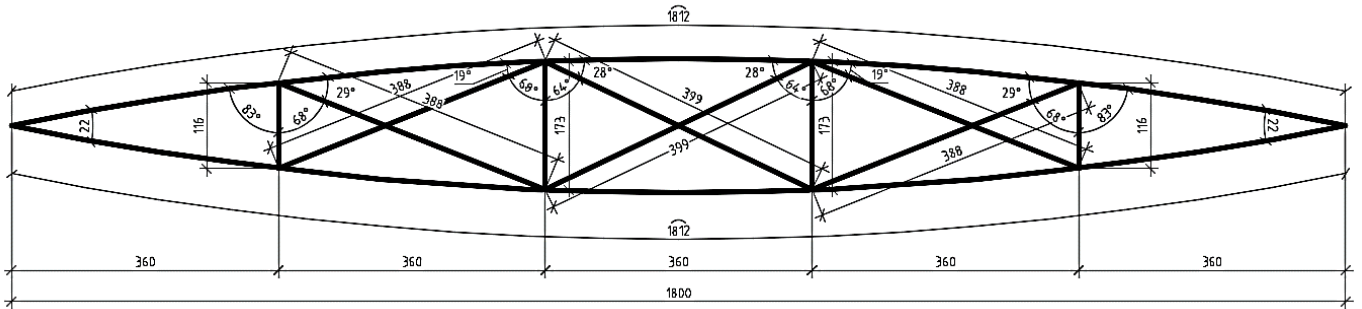


Рисунок 2.11.2.3 – Геометрическая схема уменьшенной модели плиты

$$A_{p.m} = b_{p.m} h_{p.m} = 25 \cdot 25 = 625 \text{ мм}^2.$$

$$J = \frac{b_{p.m} \cdot h_{p.m}^3}{12} = \frac{25 \cdot 25^3}{12} = 32552,1 \text{ мм}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{A_p}} = \sqrt{\frac{32552,1}{625}} = 2,22 \text{ мм}.$$

$$\lambda = \frac{l_p \cdot \mu_0}{r} = \frac{388 \cdot 1}{7,22} = 53,76 < \lambda_{\max} = 200 \Rightarrow \text{условие удовлетворяется.}$$

Для $\lambda < 70$ коэффициент продольного изгиба определяется по формуле (2.3.10):

$$\varphi = 1 - a \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left(\frac{53,76}{100} \right)^2 = 0,769.$$

$$\frac{N_{pc}}{\varphi A_p} = \frac{302,615}{0,769 \cdot 625} = 0,63 \text{ МПа} < R_c = 19,5 \text{ МПа} \Rightarrow \text{условие выполняется,}$$

устойчивость обеспечена.

Расчет раскоса на смятие в лобовом упоре

Раскос в 4-ом секторе примыкает к правой стойке лобовым упором под углом 28° к элементу нижнего пояса. Проверка на смятие под углом выполняется по аналогии с формулами (2.8.2.3)-(2.8.2.5), где N_{pp} - максимальное растягивающее усилие в раскосе (рис. 2.11.2.2), $N_{pp} = 338,075 \text{ Н}$.

$$A = b_1 \cdot h_p = 13 \cdot 25 = 325 \text{ мм}^2.$$

$$R_{сма} = \frac{R_{см}^A}{1 + \left(\frac{R_{см}^A}{R_{см90}^A} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha} = \frac{19,5}{1 + \left(\frac{19,5}{4,5} - 1 \right) \cdot \sin^3 (28^\circ)} = 14,5 \text{ МПа}.$$

$$\frac{N_{pp} \cdot \text{Cos}(\alpha)}{A_{см}} = \frac{338,075 \cdot \text{Cos}(28^\circ)}{325} = 0,92 \text{ МПа} < R_{сма} = 14,5 \text{ МПа} \Rightarrow \text{условие}$$

выполняется, прочность раскоса на смятие обеспечена. Запас прочности равен 94 %.

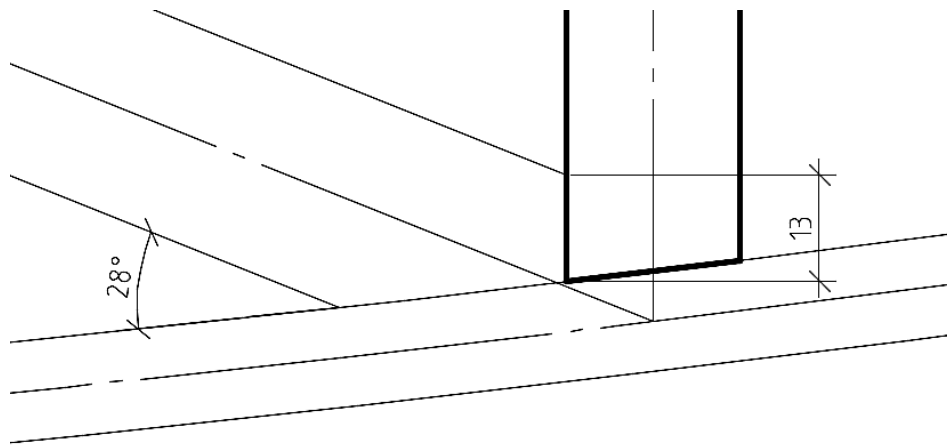


Рисунок 2.11.2.4 – Узел примыкания раскоса с максимальным сминающим усилием с указанием угла и высота площадки смятия

Расчет раскоса на смятие саморезом

Саморез (стальной нагель) в торце раскоса, крепящий его к конструкции, может смять древесину раскоса. Необходимо сравнить несущие способности T на один шов сплачивания (условный срез), kH , для стального нагеля при смятии

в крайних элементах и при его изгибе с расчетным сминающим усилием, равным $N_{pp} = 338,075 \text{ Н} = 0,34 \text{ кН}$. Примем саморез $3,5 \times 50$ мм диаметром $d = 0,35 \text{ мм}$ и выполним расчет по аналогии с формулами (2.8.2.6)-(2.8.2.8).

$$T = 0,55cd = 0,55 \cdot 2,5 \cdot 0,35 = 0,48 \text{ кН},$$

где $c = b_p = 2,5 \text{ см}$ – ширина сечения раскоса.

$$\begin{cases} T = 2,2d^2 + 0,025a^2 = 2,2 \cdot 0,35^2 + 0,025 \cdot 2,5^2 = 0,426 \text{ кН} \\ T \leq 3,1d^2 = 3,1 \cdot 0,35^2 = 0,38 \text{ кН}. \end{cases}$$

За расчетную несущую способность нагельного соединения принимаем наименьшую из найденных:

$$T = T_{\min} = 0,38 \text{ кН}.$$

$$n_u = \frac{N}{T \cdot n_{uu}} = \frac{0,34}{0,38 \cdot 1} = 1 \text{ шт.} \Rightarrow \text{несущая способность соединения на смятие}$$

обеспечена.

Расстояния от торца раскоса до самореза выдержаны в соответствии с требованиями к расстановке нагельных соединений (табл. 18 [8]).

Расчет соединения на саморезах при бруске на выдергивание

Вспомогательный брусок, к которому крепится раскос, привинчен к стойке при помощи саморезов. По п. 8.31 [8], расчетная несущая способность на выдергивание одного самореза (шурупа), завинченного в древесину (в данном случае – в стойку из фанеры), H , определяется по формуле:

$$T_{в.ш.} = R_{в.ш.} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i, \quad (2.11.2.1)$$

где $R_{в.ш.}$ – расчетное сопротивление выдергиванию шурупа на единицу поверхности соприкасания нарезной части шурупа с древесиной, для воздушно-сухой древесины принимается равным $1,5 \text{ МПа}$;

d – наружный диаметр нарезной части шурупа, мм;

l_1 – длина нарезной части шурупа, сопротивляющаяся выдергиванию, мм;

$m_{дл}$ и $\prod m_i$ – то же, что в формуле (2.3.4).

Примем для крепления брусков саморезы $3,5 \times 60$ мм, проходящие через брусок шириной $b_{бруска} = 40$ мм и завинчивающиеся в стойку на длину l_1 , равную

$$l_1 = l_{ш} - b_{бруска} = 60 - 40 = 20 \text{ мм},$$

где $l_{ш} = 60 \text{ мм}$ – длина самореза.

$$T_{\text{в.ш.}} = R_{\text{в.ш.}} \cdot \pi \cdot d \cdot l_1 \cdot m_{\text{от}} \cdot \prod m_i = 1,5 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1 = 329,9 \text{ Н.}$$

Условие прочности на выдергивание саморезов выглядит следующим образом:

$$\frac{N_{pp} \cdot \text{Cos}(\alpha)}{T_{\text{в.ш.}} \cdot n \cdot n_{\text{ш}}} \leq 1, \quad (2.11.2.2)$$

где N_{pp} - максимальное растягивающее усилие в раскосе (рис. 2.11.2.2), $N_{pp} = 338,075 \text{ Н}$;

α - угол наклона наиболее растянутого раскоса (рис. 2.11.2.4), $\alpha = 28^\circ$;

$T_{\text{в.ш.}}$ - то же, что в формуле (2.11.2.1);

n - количество саморезов, крепящих брусок к стойке;

$n_{\text{ш}}$ - число расчетных срезов самореза, крепящего брусок, $n_{\text{ш}} = 1$.

Примем $n = 2$ шт. Тогда

$$\frac{N_{pp} \cdot \text{Cos}(\alpha)}{T_{\text{в.ш.}} \cdot n} = \frac{338,075 \cdot \text{Cos}(28^\circ)}{329,9 \cdot 2} = 0,45 < 1 \Rightarrow \text{условие выполняется,}$$

прочность соединения на выдергивание обеспечена. Запас прочности равен 55 %.

Расстояния от кромок бруска до самореза выдержаны в соответствии с требованиями к расстановке нагельных соединений (табл. 18 [8]).

Расчет соединения на саморезах при бруске на срез

Прочность соединения на саморезах на срез обеспечивается при выполнении условия:

$$\frac{N_{pp} \cdot \text{Sin}(\alpha)}{n \cdot n_{\text{ш}}} \leq N_{bs}, \quad (2.11.2.3)$$

где N_{pp} - то же, что в формуле (2.11.2.2);

α - то же, что в формуле (2.11.2.2);

n - то же, что в формуле (2.11.2.2);

$n_{\text{ш}}$ - то же, что в формуле (2.11.2.2);

N_{bs} - расчетное усилие, воспринимаемое одним болтом при срезе, H , определяется по аналогии с формулой (2.8.2.14):

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_{b(3,5)} \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 210 \cdot 9,62 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2020 \text{ Н,}$$

где $A_{b(3,5)}$ - площадь сечения самореза брутто, для самореза диаметром $d = 3,5 \text{ мм}$ $A_{b(3,5)} = 9,62 \text{ мм}^2$.

$$\frac{N_{pp} \cdot \sin(\alpha)}{n \cdot n_{iu}} = \frac{338,075 \cdot \sin(28^\circ)}{2 \cdot 1} = 79,36 H < N_{bs} = 2020 H \Rightarrow$$

\Rightarrow условие выполняется, прочность соединения на срез обеспечена.

Расчет стойки (распорки) на устойчивость

Выполним расчет стойки на устойчивость по аналогии с формулами (2.8.2.18)-(2.8.2.24). Стойки в уменьшенной модели плиты сделаны из того же материала, что и в полноразмерной конструкции.

Расчетная продольная сила N_{cm} , кН, сжимающая стойку, условно принята как произведение максимального сжимающего усилия в стойке (рис. 2.11.2.5), распределенного на сечение элемента стойки $A_{сегм.см.}$, на площадь сечения сегмента и количество элементов верхнего пояса, сжимающих стойку (площадь опирания на стойку):

$$N_{cm} = N_{cm.max} \cdot A_{сегм.см.} \cdot 4 = N_{cm.max} \cdot A_{cm}, \quad (2.8.2.20)$$

где $N_{cm.max}$ – максимальное продольное усилие в сегменте (по модулю), распределенное на площадь сечения сегмента, $N_{cm.max} = 249,596 \text{ кН/м}^2$;

$A_{сегм.см.}$ – площадь сечения сегмента, определяется по формуле:

$$A_{сегм.см.} = b_{\delta} \cdot t_{cm}, \quad (2.8.2.21)$$

где b_{δ} – то же, что в формуле (2.1.3), $b_{\delta} = 165 \text{ мм}$;

t_{cm} – толщина стойки, $t_{cm} = 21 \text{ мм}$;

A_{cm} – площадь опирания элементов верхнего пояса на стойку, определяется по формуле:

$$A_{cm} = A_{сегм.см.} \cdot 4 \quad (2.8.2.22)$$

Определим площадь сегмента, мм^2 , наименьший момент инерции сечения стойки, мм^4 и радиус инерции, мм :

$$A_{сегм.см.} = t_{cm} \cdot b_{\delta.м} = 21 \cdot 50 = 1050 \text{ мм}^2.$$

$$J = \frac{b_{\delta.м} \cdot 4 \cdot t_{cm}^3}{12} = \frac{50 \cdot 4 \cdot 21^3}{12} = 154350 \text{ мм}^4.$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{A_{сегм.см.} \cdot 4}} = \sqrt{\frac{154350}{1050 \cdot 4}} = 6,062 \text{ мм}.$$

Определим гибкость по аналогии с формулой (2.8.2.23):

$$\lambda = \frac{l_{pcm} \cdot \mu_0}{r} = \frac{173 \cdot 1}{6,06} = 28,54.$$

где l_{pcm} – максимальная расчетная длина (высота) стойки, $l_{pcm} = 173$ мм.

При гибкости раскоса $\lambda < 70$ коэффициент продольного изгиба определяется по аналогии с формулой (2.3.10):

$$\varphi = 1 - a \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 1 \cdot \left(\frac{28,54}{100} \right)^2 = 0,919,$$

где $a = 1$ для фанеры.

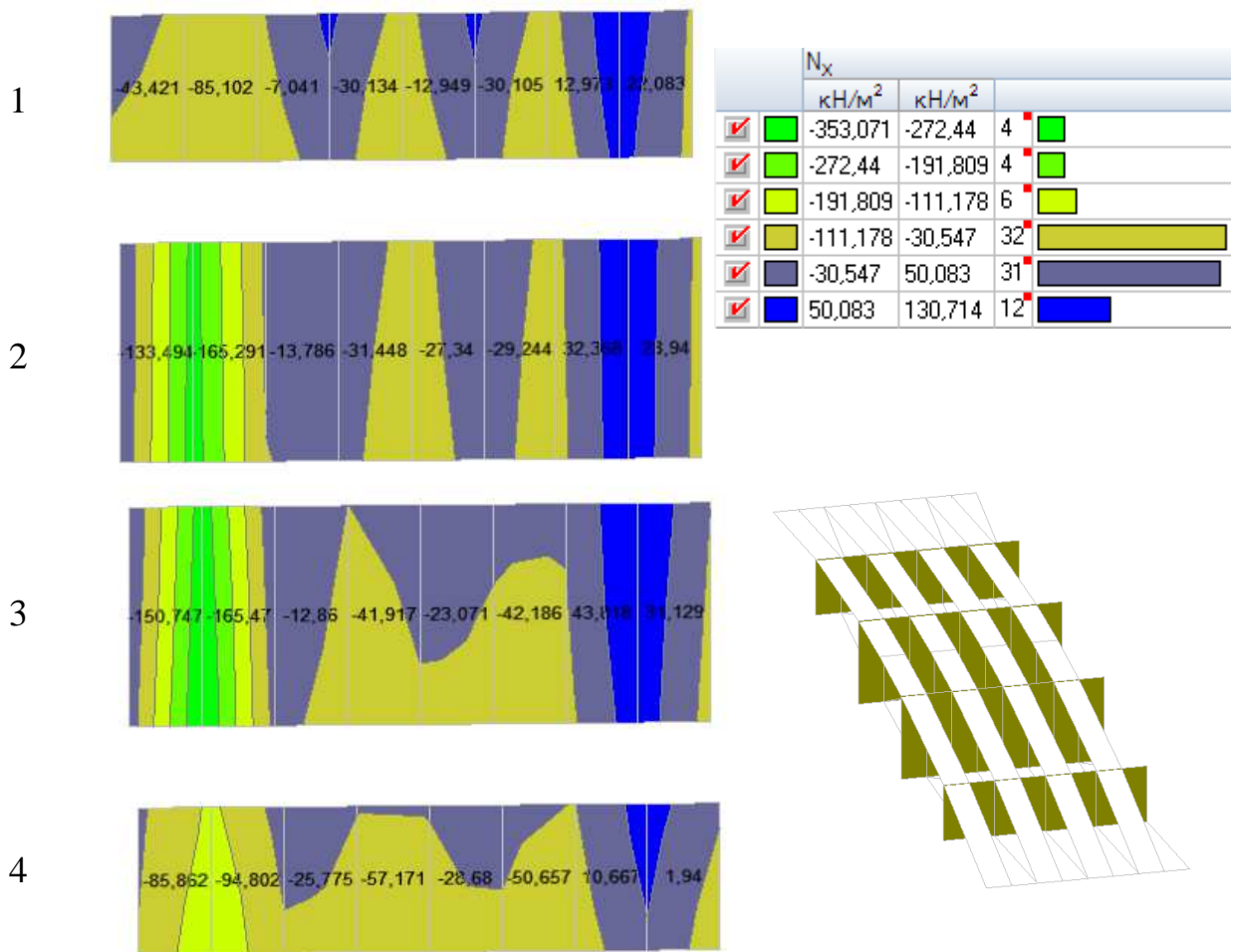


Рисунок 2.11.2.5 – Поля напряжений в стойках N_x , кН/м²

$$N_{cm} = N_{cm,max} \cdot A_{сегм.ст.} \cdot 4 = 249,596 \cdot 1050 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 0,262 \text{ кН}.$$

$$A_{cm} = A_{сегм.ст.} \cdot 4 = 1050 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 0,0042 \text{ м}^2.$$

$$R_{\phi.c.} = R_{\phi.c.}^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot \prod m_i = 26000 \cdot 1 \cdot 1 = 26000 \text{ кПа}.$$

$$\frac{N_{cm}}{\phi A_{cm}} = \frac{0,262}{0,919 \cdot 0,0042} = 68 \text{ кПа} < R_{\phi.c.} = 26000 \text{ кПа} \Rightarrow$$

\Rightarrow условие выполняется, устойчивость стойки обеспечена.

Расчет стойки (распорки) на прочность

Выполним расчет стойки на прочность по аналогии с формулой (2.8.2.25):

$$\frac{N_{cm}}{A_{cm}} = \frac{0,262}{0,0042} = 62,4 \text{ кПа} < R_{\phi.c.} = 26000 \text{ кПа} \Rightarrow$$

\Rightarrow условие выполняется, прочность стойки обеспечена.

3 Экспериментальные исследования

3.1 Испытание наконечника с болтовым соединением на растяжение

Были проведены испытания наконечника элемента пояса уменьшенной модели плиты на растяжение с целью выявления критической нагрузки, при которой произойдет скалывание древесины по сечению, ослабленному болтами. Испытание проходило в Лабораторном корпусе СФУ с соблюдением техники безопасности. Схема испытания с указанием масс строповочных элементов приведена на Листе 12 Графической части (приложение Ж) и на рис. 3.1.1.

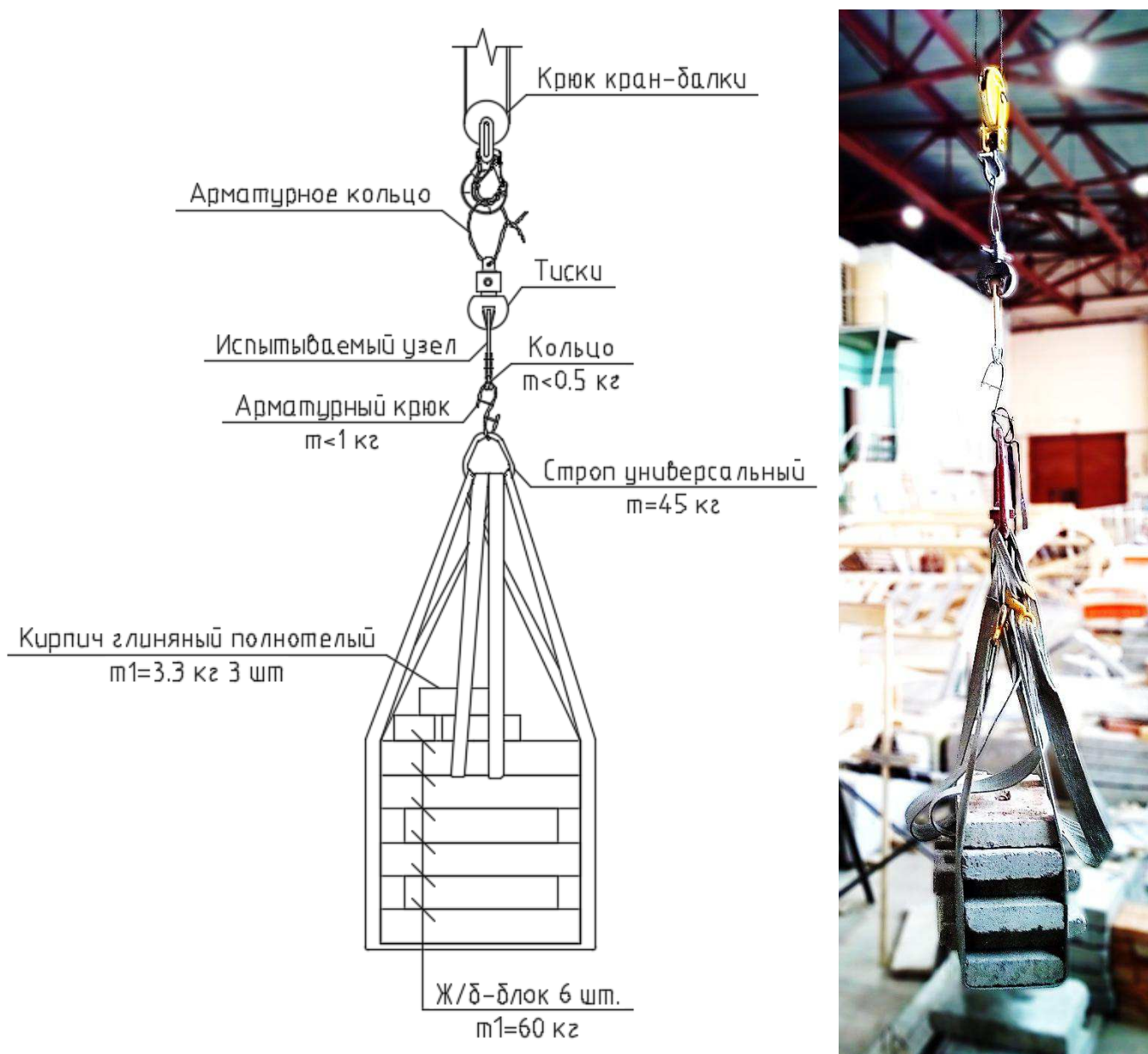


Рисунок 3.1.1 – Схема и фотография испытательного наконечника под нагрузкой

Загружение происходило с использованием бетонных блоков размерами 100x400x600 мм массой 60 кг, а также полнотелыми глиняными кирпичами средней массой 3,3 кг. Нагружение происходило ступенчато (приведенные значения вычислены без учета стропов и строповочных приспособлений):

1 ступень – 1 плита = 60 кг;

2 ступень – 1 плита и 3 кирпича = $60 + 3 \cdot 3,3 = 69,9$ кг;

3 ступень – 1 плита и 6 кирпичей = $60 + 6 \cdot 3,3 = 79,8$ кг;

4 ступень – 1 плита и 9 кирпичей = $60 + 9 \cdot 3,3 = 89,7$ кг;

5 ступень – 1 плита и 12 кирпичей = $60 + 12 \cdot 3,3 = 99,6$ кг;

6 ступень – 1 плита и 15 кирпичей = $60 + 15 \cdot 3,3 = 109,5$ кг.

Далее ступени повторялись: кирпичи убирались и вместо них укладывалась следующая плита.

После загрузки каждой ступенью соединение выдерживалось в течение 2 минут. Нагруженный наконечник поднимался при помощи крюка кран-балки на расстояние около 300-400 мм (во избежание внезапного разрушения наконечника во время выдерживания).

Разрушение произошло в момент, когда к наконечнику были подвешены 6 бетонных блоков и 3 кирпича (мгновенно). С учетом массы стропов общая нагрузка на наконечник составила $1 + 45 + 6 \cdot 60 + 3 \cdot 3,3 = 415,9$ кг. Сравним эту критическую нагрузку с расчетной нагрузкой, используемой при расчете болтового соединения в п. 2.11.1. Переведем ее значение к размерности [кН]:

$$F_{cr} = \frac{415,9 \cdot 9,81}{1000} = 4,07 \text{ кН} > N = 1,29 \text{ кН} \Rightarrow \text{значение критической}$$

нагрузки, при которой происходит разрушение узла, больше расчетного значения усилия в узле, следовательно, прочность болтового соединения при действии расчетной нагрузки обеспечена.

3.2 Цели, методика и содержание испытаний

Были поставлены следующие цели проведения испытаний уменьшенной модели пространственной плиты покрытия:

– Установить взаимосвязь между численными расчетами и экспериментальными исследованиями на основании критерия подобия;

– Выявить возможность использования принятой системы для разработки несущих конструкций покрытия;

– Определить перемещения характерных точек конструкции при статической распределенной равно- и односторонней нагрузках;

– Изучить характер и особенности распределения нормальных напряжений в различных сечениях верхнего пояса;

– Установить предельную несущую способность конструкции.

Для оценки НДС модели в процессе испытания определяли:

– Линию прогибов нижнего пояса;

– Относительные деформации, а по ним напряжения в характерном сечении элементов модели.

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

Горизонтальные перемещения шарнирно-подвижной опоры фиксировались индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Относительные деформации в элементах модели измеряли фольговыми одиночными тензорезисторными датчиками с константановой проволокой и базой 60 мм (2ФКП-60-120-А-12-С) с использованием микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64.01-1.

Модель испытывалась на действие как распределенной равносторонней нагрузки, моделирующей вариант 1 снеговой нагрузки, так и односторонней нагрузки (вариант 2 снеговой нагрузки) в сочетании с равномерно-распределенной нагрузкой от утеплителя и покрытия. Нагружение создавалось штучным материалом – кирпичом глиняным полнотелым массой 4,6 кг. Для более равномерного распределения нагрузки использовался тонкий фанерный лист толщиной 5 мм, который укладывался на модель, а сверху на него укладывались кирпичи.

При проведении испытаний соблюдались следующие условия:

– Нагрузка прикладывалась одинаковыми ступенями в примерно равные промежутки времени (1-5 мин);

– Испытательная модель выдерживалась после нагружения каждой ступенью нагрузки примерно одинаковое время, превышающее время приложения ступени нагрузки в 3-5 раз (10-20 мин), для стабилизации деформаций и затухания всех локальных эффектов, после чего снимались показания всех измерительных приборов [13];

– Первый этап нагружения был приложен дважды (загружение до 3-ей ступени, разгружение и повторное загружение с последующим соблюдением ступеней и этапности приложения нагрузки и измерениями прогибов и деформаций) с целью осадки конструкции (выбора зазоров и т.д.).

На протяжении испытаний производилось наблюдение за состоянием испытательной модели.

Нагружение равносторонней нагрузкой на 1-ом этапе осуществлялось ступенчато со ступенью нагрузки, равной 25% от нормативной, то есть в 4 ступени, причем на 3-ей ступени происходило разгружение и повторное нагружение с соблюдением ступенчатости приложения нагрузки [13]. Снимались показания приборов. Далее происходило нагружение с возрастанием нагрузки до расчетной (2 этап) в 2 ступени. После достижения расчетного значения равносторонней нагрузки снимались показания приборов и происходило разгружение модели.

Нагружение односторонней нагрузкой (3-ий этап) осуществлялось со ступенью нагрузки, равной 25% от нормативной, то есть в 4 ступени. Снимались показания приборов. Далее происходило нагружение с возрастанием нагрузки до расчетной (4 этап) в 2 ступени. После достижения расчетного значения

односторонней нагрузки снимались показания приборов и происходило дальнейшее загрузке с увеличением расчетной нагрузки на 25 % в 2 ступени. Далее испытания были прекращены.

Измерение вертикальных и горизонтальных перемещений производилось:

– Непосредственно перед началом каждого нагружения следующей ступени;

– Сразу после нагружения.

Продолжительность снятия отсчетов по прогибомерам составляла 1-2 мин. Снятие показаний по тензорезисторам происходило непрерывно и автоматически. По окончании испытаний производилась обработка массива полученных данных изменений показаний тензорезисторов.

3.3 Описание установки для испытательной модели

Уменьшенная модель линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов была собрана для испытаний:

– При равностороннем нагружении - при действии нормативной нагрузки, составляющей $1,64 \text{ кН/м}^2$. Расчетная нагрузка составляет $2,26 \text{ кН/м}^2$;

– При одностороннем нагружении - при действии нормативной нагрузки, составляющей $1,26 \text{ кН/м}^2$ с менее нагруженной стороны (ближе к шарнирно-неподвижной опоре) и $2,01 \text{ кН/м}^2$ с более нагруженной стороны (ближе к шарнирно-подвижной опоре). Расчетная нагрузка составляет $1,74 \text{ кН/м}^2$ с менее нагруженной стороны и $2,79 \text{ кН/м}^2$ с более нагруженной стороны.

Модель плиты опиралась на бруски в соответствии с чертежами КД (см. Лист 8 графической части, прил. Ж), бруски были закреплены на металлических треногах. Таким образом, было обеспечено возвышенное положение модели плиты: модель находилась на расстоянии 1,2 м от поверхности земли. Модель была прикреплена к металлической треноге при помощи хомутов из проволоки (см. Лист 12 графической части, прил. Ж, и рис. 3.3.1) с целью предотвращения перемещения треног в горизонтальном направлении. Со стороны шарнирно-подвижной опоры хомуты были затянуты слабее для обеспечения возможных горизонтальных перемещений модели.

Между треногами был поставлен стол высотой 800 мм, длиной 1200 мм и шириной 600 мм, сверху на него был уложен слой минеральной ваты для смягчения падения модели плиты при возможном преждевременном разрушении.

Прогибомеры в количестве 6 шт. были установлены на столе между треногами. На торцах стоек были высверлены отверстия глубиной 4-5 мм и диаметром 7,9 мм, в которые были вбиты шпильки диаметром 8 мм. Стальная проволока с грузом была зафиксирована на шпильках по обеим сторонам модели так, чтобы проходить через прогибомеры.

Индикатор часового типа в количестве 1 шт. был закреплен посередине модели плиты возле шарнирно-подвижной опоры к элементу верхнего пояса с упором подвижного стержня в неподвижную опору (треногу).

Тензорезисторы в количестве 4 шт. были расположены со стороны, более нагруженной при нагружении односторонней нагрузкой (ближе к шарнирно-неподвижной опоре). Кабель с проводами, припаянными к тензорезисторам, во время испытаний находился в подвешенном состоянии во избежание заземления и появления помех при измерении показаний тензорезисторов.

Схема расстановки приборов представлена на Листе 12 Графической части (прил. Ж) и на рис. 3.3.1.

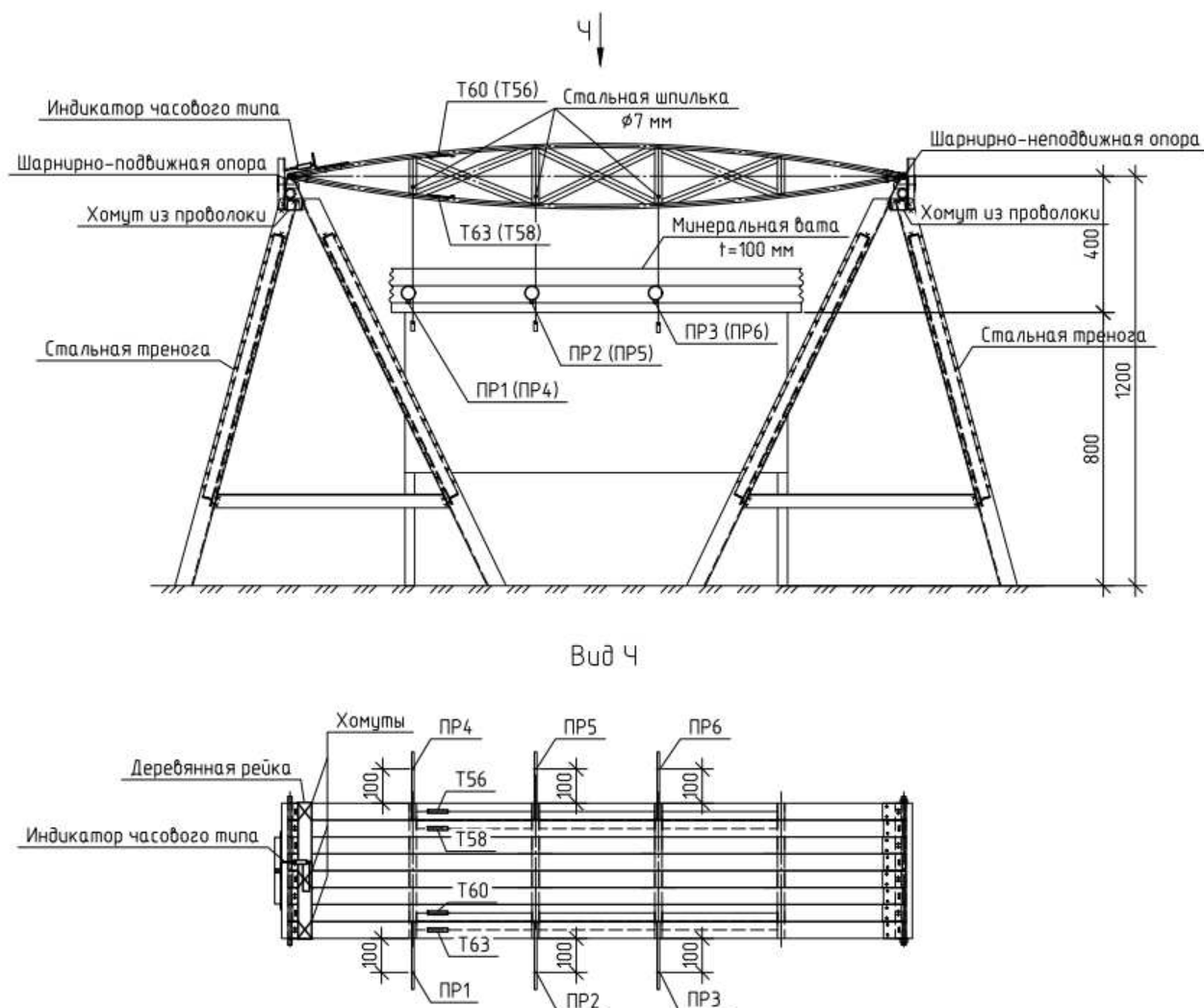


Рисунок 3.3.1 – Схема расстановки приборов:
 PR1-PR6 – прогибомеры;
 T56-T63 – тензорезисторы

В таблице 16 представлена нагрузка, кг, необходимая для нагружения модели каждой ступенью нагрузки с использованием кирпичей глиняных полнотелых со средней массой 3,3 кг. При вычислении нагрузки, необходимой для загрузки, учтен понижающий коэффициент подобия нагрузки, равный 0,85 (см. п. 2.9), и распределение нагрузки между элементами верхнего пояса.

Фотографии этапов нагружения нормативной и расчетной равно- и односторонней нагрузками представлены на рис. 3.3.2-3.3.5. Нагружение плиты

на 5-ом этапе с коэффициентом перегрузки, равным 1,5 от расчетной нагрузки, представлено на рис. 3.3.6.

Таблица 16 – Расчет нагрузки, необходимой для ступенчатого загрузения модели

№ этапа	Тип нагружения	Наименование этапа загрузения	Значение нагрузки, необходимой для загрузения, $кН/м^2$:		Площадь модели, $м^2$	Сосредоточенный вес груза для загрузения, $кН$		Масса груза, $кг$		Необходимое количество кирпичей при $t_{кирпича} = 3,3$ $кг$	
			с шарн.-неп. опоры	с шарн.-подв. опоры		с шарн.-неп. опоры	с шарн.-подв. опоры	с шарн.-неп. опоры	с шарн.-подв. опоры		
1	Равномерно-распределенная равносторонняя	25% $q_{норм}$	0,67	0,67	0,72	0,29	0,29	30	30	9	9
		50% $q_{норм}$	1,34	1,34		0,59	0,59	60	60	18	18
		75% $q_{норм}$	2,01	2,01		0,88	0,88	90	90	27	27
		100% $q_{норм}$	2,69	2,69		1,18	1,18	120	120	36	36
2	Равномерно-распределенная равносторонняя	$q_{норм} + (q_{расч} - q_{норм}) \cdot 50\%$	3,21	3,21	0,72	1,4	1,4	143,01	143,01	43	43
		100% $q_{расч}$	3,73	3,73		1,63	1,63	166,02	166,02	50	50
Разгрузка											
3	Равномерно-распределенная односторонняя	25% $q_{норм}$	0,51	0,83	0,72	0,23	0,36	23,12	36,88	7	11
		50% $q_{норм}$	1,02	1,66		0,45	0,72	46,24	73,76	14	22
		75% $q_{норм}$	1,54	2,49		0,68	1,09	69,36	110,64	21	34
		100% $q_{норм}$	2,05	3,32		0,91	1,45	92,48	147,52	28	45
4	Равномерно-распределенная односторонняя	$q_{норм} + (q_{расч} - q_{норм}) \cdot 50\%$	2,44	3,97	0,72	1,08	1,73	109,98	176,04	33	53
		100% $q_{расч}$	2,84	4,62		1,25	2,01	127,49	204,55	39	62
5	Равномерно-распределенная односторонняя	$q_1 = q_{расч} + 25\%$ $q_{расч}$	3,55	5,78	0,72	1,56	2,51	159,36	255,69	48	77
		$q_2 = q_1 + 25\%$ $q_{расч}$	4,44	7,23		1,95	3,14	199,2	319,61	60	97



Рисунок 3.3.2 – Нагружение ЛПП нормативной равномерно распределенной равносторонней нагрузкой ($2,69 \text{ кН/м}^2$)



Рисунок 3.3.3 - Нагружение ЛПП расчетной равномерно распределенной равносторонней нагрузкой ($3,73 \text{ кН/м}^2$)



Рисунок 3.3.4 - Нагружение ЛПП нормативной распределенной односторонней нагрузкой ($3,32 \text{ кН/м}^2 / 2,05 \text{ кН/м}^2$)



Рисунок 3.3.5 - Нагружение ЛПП расчетной распределенной односторонней нагрузкой ($4,62 \text{ кН/м}^2 / 2,84 \text{ кН/м}^2$)



Рисунок 3.3.5 - Нагружение ЛПП распределенной односторонней нагрузкой, равной $1,5 q_{расч}$ ($7,23 \text{ кН/м}^2 / 4,44 \text{ кН/м}^2$)

3.4 Результаты испытаний

Испытания проходили 29.05.2020 г. в лабораторном корпусе СФУ.

Показания прогибомеров и индикатора часового типа не приводились в положение нуля, относительные прогибы и горизонтальное перемещение вычислялись разностью начального и конечного показаний прибора.

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

Фотографии схем и ступеней загрузений представлены на Листе 12 графической части (прил. Ж).

Хронометраж 1-2 этапов (загружение равноугонной нагрузкой) с результатами испытаний представлен на Листе 13 графической части (прил. Ж). Продолжительность составила 2 часа 4 минуты.

Хронометраж 3-5 этапов (загружение односторонней нагрузкой) с результатами испытаний представлен на Листе 13 графической части (прил. Ж). Продолжительность составила 3 часа 33 минуты.

Схема модели с обозначением сторон для построения линии прогибов показана на рис. 3.4.1. Линии прогибов построены по ближней, дальней и средней сторонам модели плиты при действии нормативной нагрузки для обоих загрузений и представлены на рис. 3.4.2-3.4.7.

Результаты измерений тензорезисторов (абсолютные значения по данным ММТС) показаны на рис. 3.4.8-3.4.9. Временная шкала в измерениях показаний тензорезисторов сдвинута на 10 минут назад. Графики относительного изменения напряжений в сечениях элементов поясов, а также результаты

измерений прогибометров (относительные значения) представлены на Листе 13 графической части (прил. Ж).

Переход напряжений от размерности [кгс/мм²], принятой программой, к размерности [МПа] происходил посредством умножения на ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

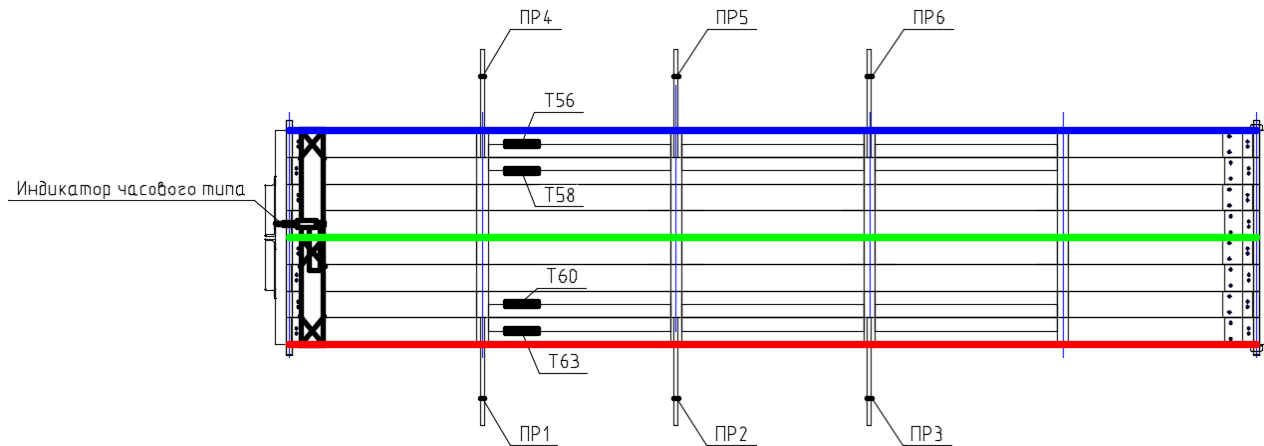


Рисунок 3.4.1 – Схема модели плиты с расположением приборов и обозначением линий построения прогибов:

- - дальняя сторона;
- - средняя линия;
- - ближняя сторона

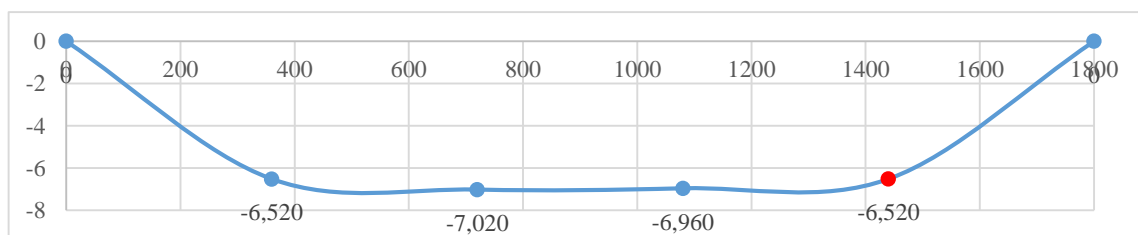


Рисунок 3.4.2 - Линия прогибов при равностороннем нагружении $q_{норм}$, мм, ближняя грань:

- точка, построенная зеркально

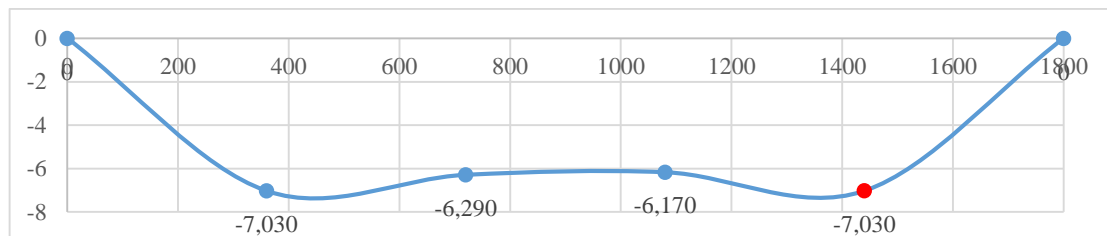


Рисунок 3.4.3 - Линия прогибов при равностороннем нагружении $q_{норм}$, мм, дальняя грань:

- точка, построенная зеркально

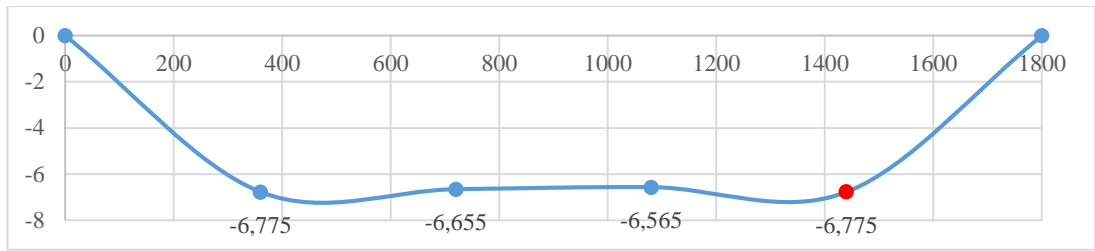


Рисунок 3.4.4 - Линия прогибов при равностороннем загрузении $q_{норм}$, мм,
средняя линия:

 - точка, построенная зеркально

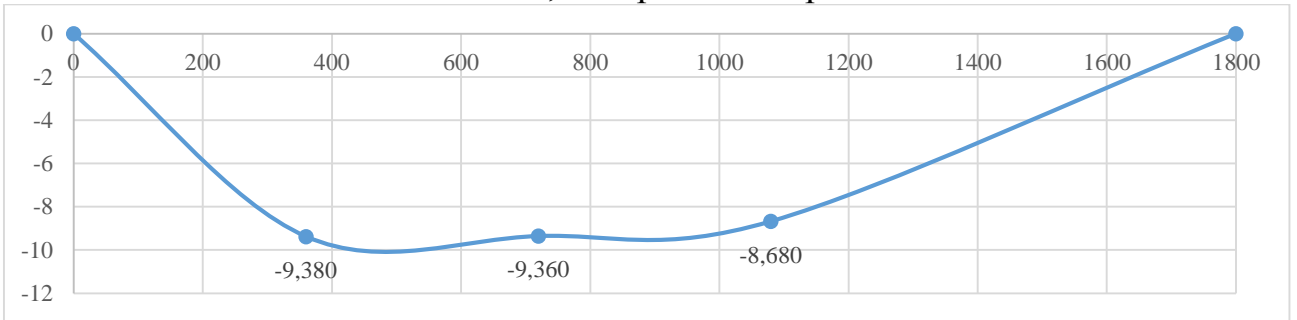


Рисунок 3.4.5 - Линия прогибов при одностороннем загрузении $q_{норм}$, мм,
ближняя грань

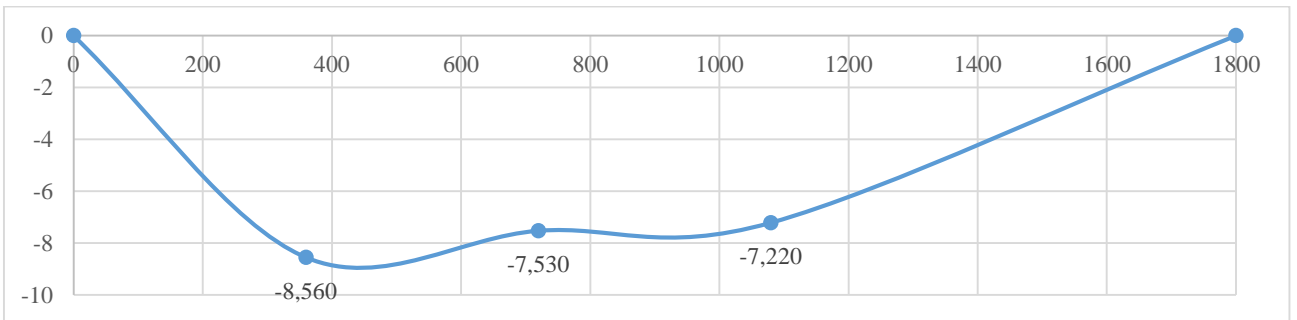


Рисунок 3.4.6 - Линия прогибов при одностороннем загрузении $q_{норм}$, мм,
дальняя грань

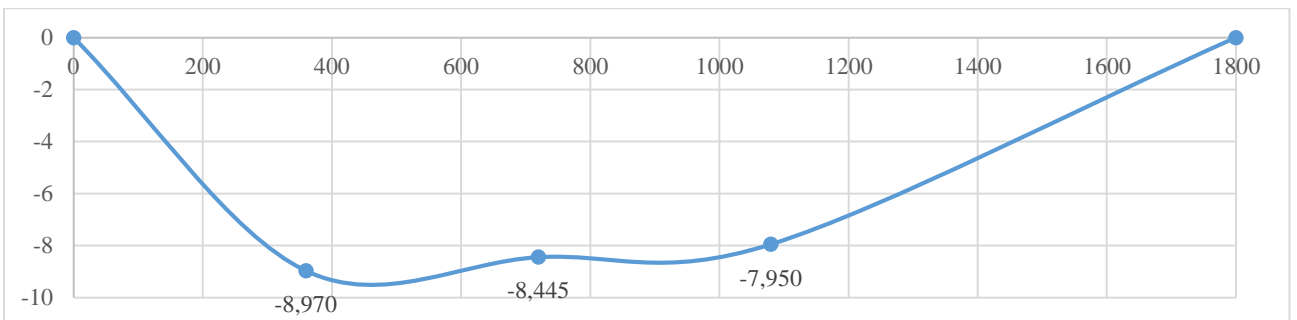


Рисунок 3.4.7 - Линия прогибов при одностороннем загрузении $q_{норм}$, мм,
средняя линия

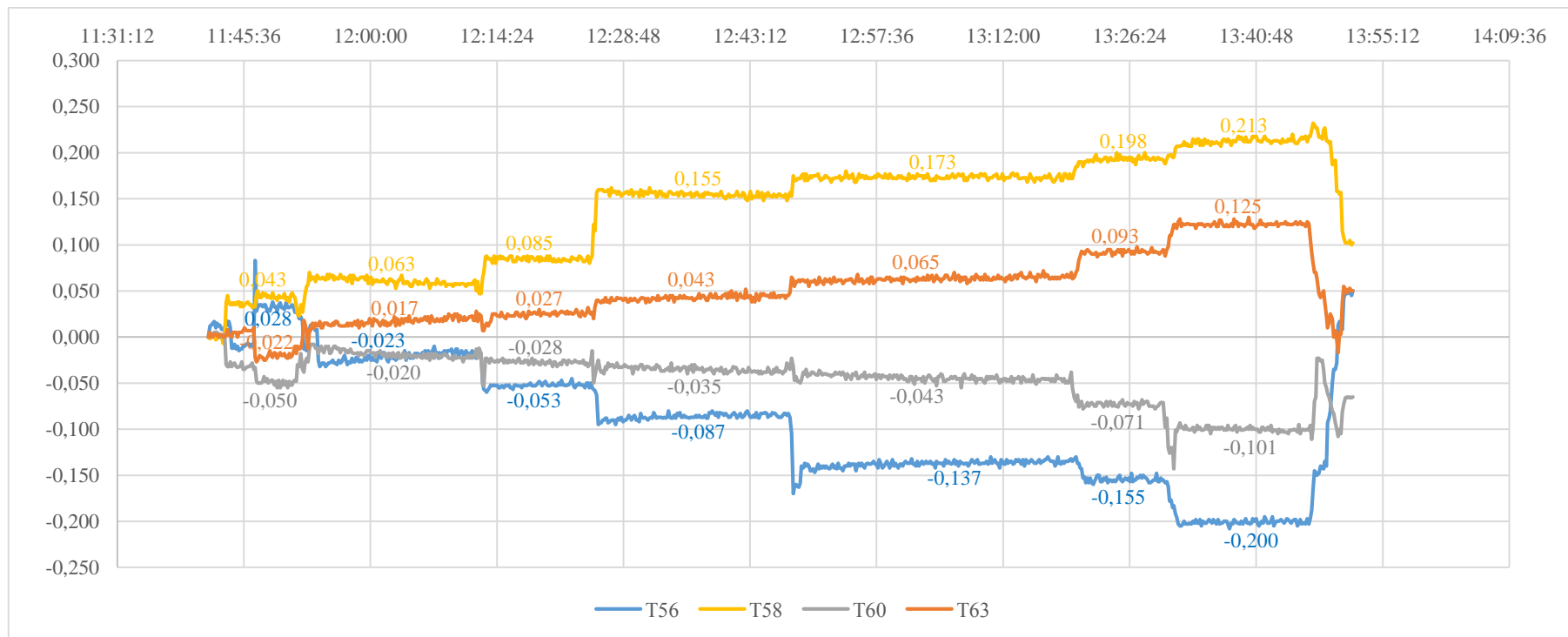


Рисунок 3.4.8 – Напряжения в тензорезисторах при равносторонней нагрузке (С1), кгс/мм², по показаниям ММТС 64.01-1

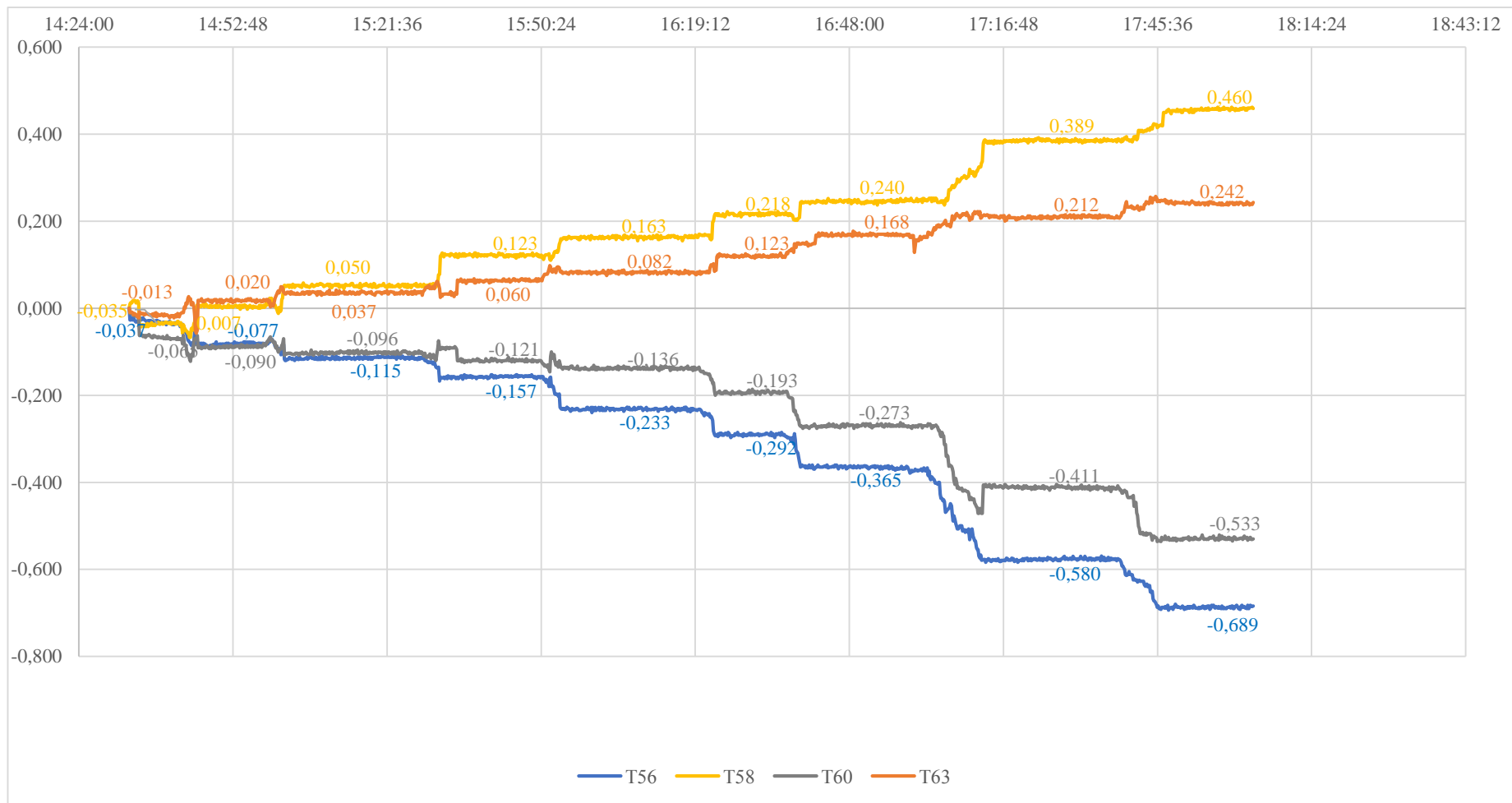


Рисунок 3.4.9 – Напряжения в тензорезисторах при односторонней нагрузке (С2), кгс/мм², по показаниям ММТС 64.01-1

3.5 Анализ полученных результатов

Анализируя полученные графики изменения прогибов, можно сделать вывод, что модель перекашивает. Такой же эффект наблюдается и в результатах численных экспериментов. Это можно объяснить несимметричностью расположения поясов: по ширине модель начинается элементом верхнего пояса, а заканчивается элементом нижнего пояса. Выбор схемы с несимметричным расположением элементов поясов как в уменьшенной модели, так и в натурной конструкции обусловлен тем, что таким образом проще располагать плиты по порядку вдоль пролета здания. Благодаря покрытию нагрузка будет частично перераспределяться на соседние плиты, и перекас будет минимизирован. Очевидно также, что симметричное расположение элементов поясов, когда плита начинается и заканчивается элементом верхнего пояса либо элементом нижнего пояса, исключает перекас.

Также наблюдается небольшой выгиб посередине модели конструкции (менее 1 мм). Такой же эффект наблюдается и в результатах численных экспериментов и обусловлен арочной формой поясов: при воздействии нагрузки верхний пояс прогибается вниз в крайних секторах, но выгибается вверх в среднем секторе и «тянет» нижний пояс в среднем секторе вверх через стойки.

Таблица 19 – Анализ результатов расчета и испытания¹

Наименование показателя	Результаты численного эксперимента	Результаты испытания	Процент расхождения
$f_{норм}$ от C1, мм	-8,454	-7,03	17
$f_{норм}$ от C2, мм	-8,527	-7,42	13
$f_{расч}$ от C1, мм	-11,392	-9,83	14
$f_{расч}$ от C2, мм	-11,814	-11,50	3
$X_{норм}$ от C1, мм	0,381	0,45	15
$X_{норм}$ от C2, мм	0,35	0,420	17
$X_{расч}$ от C1, мм	0,545	0,66	17
$X_{расч}$ от C2, мм	0,501	0,550	9
$\sigma_x(T56)_{норм}$ от C1, МПа	-1,326	-1,465	9
$\sigma_x(T58)_{норм}$ от C1, МПа	1,482	1,724	14
$\sigma_x(T60)_{норм}$ от C1, МПа	-0,428	-0,468	8
$\sigma_x(T63)_{норм}$ от C1, МПа	0,520	0,573	9
$\sigma_x(T56)_{норм}$ от C2, МПа	-1,74	-1,95	11
$\sigma_x(T58)_{норм}$ от C2, МПа	1,733	1,894	9
$\sigma_x(T60)_{норм}$ от C2, МПа	-0,583	-0,695	16
$\sigma_x(T63)_{норм}$ от C2, МПа	0,885	0,924	4
$\sigma_x(T56)_{расч}$ от C1, МПа	-1,844	-2,090	12
$\sigma_x(T58)_{расч}$ от C1, МПа	1,843	2,105	12
$\sigma_x(T60)_{расч}$ от C1, МПа	-0,859	-1,010	15
$\sigma_x(T63)_{расч}$ от C1, МПа	1,064	1,152	8
$\sigma_x(T56)_{расч}$ от C2, МПа	-3,003	-3,27	8
$\sigma_x(T58)_{расч}$ от C2, МПа	2,574	2,708	5
$\sigma_x(T60)_{расч}$ от C2, МПа	-1,704	-1,99	14
$\sigma_x(T63)_{расч}$ от C2, МПа	1,528	1,76	13

Примечания к табл. 19:

¹ – в результатах численного эксперимента приведены сжимающие напряжения на нижнем волокне и растягивающие напряжения на верхнем волокне согласно специфике расположения тензорезисторов. Результаты численного эксперимента представлены на рис. 3.5.1-3.5.8;

² – в таблице приведены максимальные прогибы как по численному эксперименту, так и в испытании.

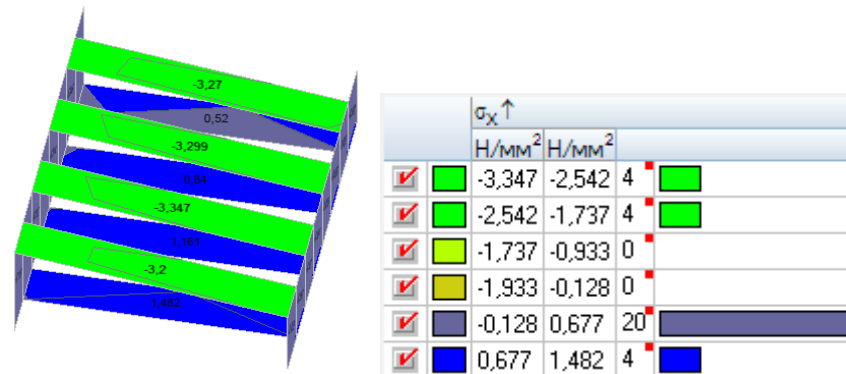


Рисунок 3.5.1 – Поля напряжений σ_x , МПа, на верхних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации С1 и $q_{норм}$

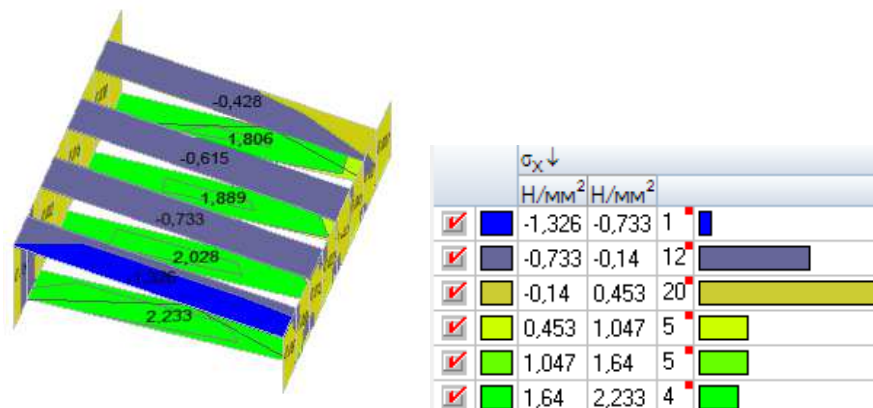


Рисунок 3.5.2 – Поля напряжений σ_x , МПа, на нижних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации С1 и $q_{норм}$

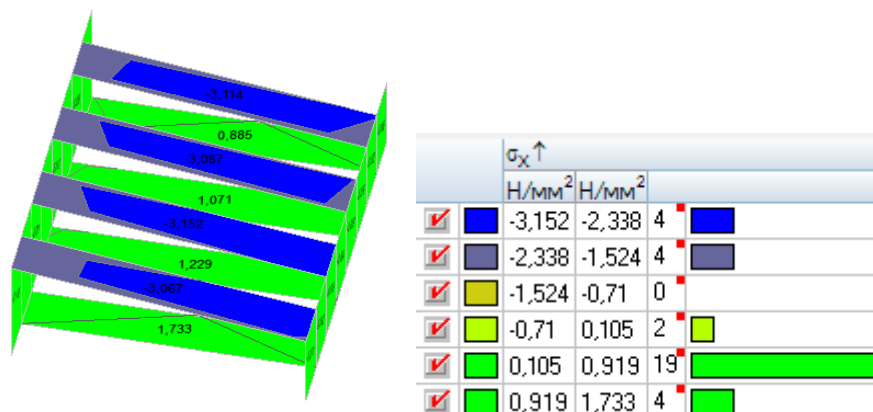
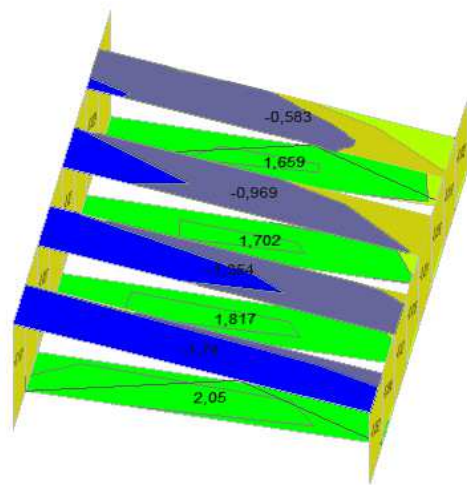
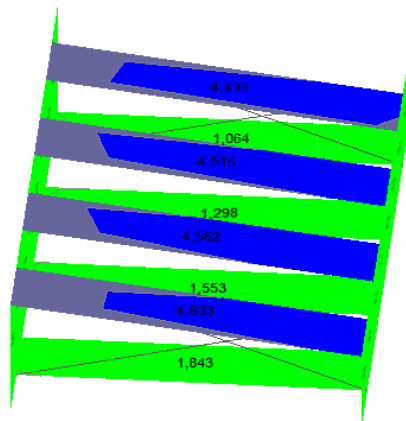


Рисунок 3.5.3 – Поля напряжений σ_x , МПа, на верхних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации С2 и $q_{норм}$



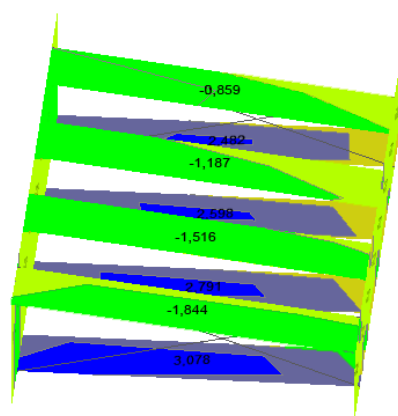
		$\sigma_x \downarrow$			
		H/мм ²	H/мм ²		
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-1,74	-1,108	1	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-1,108	-0,477	5	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-0,477	0,155	20	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0,155	0,787	8	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0,787	1,418	4	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	1,418	2,05	4	■

Рисунок 3.5.4 – Поля напряжений σ_x , МПа, на нижних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации С2 и $q_{норм}$



		$\sigma_x \uparrow$			
		H/мм ²	H/мм ²		
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-4,633	-3,587	4	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-3,587	-2,541	4	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-2,541	-1,495	0	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-1,495	-0,449	2	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-0,449	0,597	20	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0,597	1,843	4	■

Рисунок 3.5.5 – Поля напряжений σ_x , МПа, на верхних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации С1 и $q_{расч}$



		$\sigma_x \downarrow$			
		H/мм ²	H/мм ²		
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-1,844	-1,024	1	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-1,024	-0,203	12	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	-0,203	0,617	20	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0,617	1,437	5	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	1,437	2,258	5	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	2,258	3,078	4	■

Рисунок 3.5.6 – Поля напряжений σ_x , МПа, на нижних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации С1 и $q_{расч}$

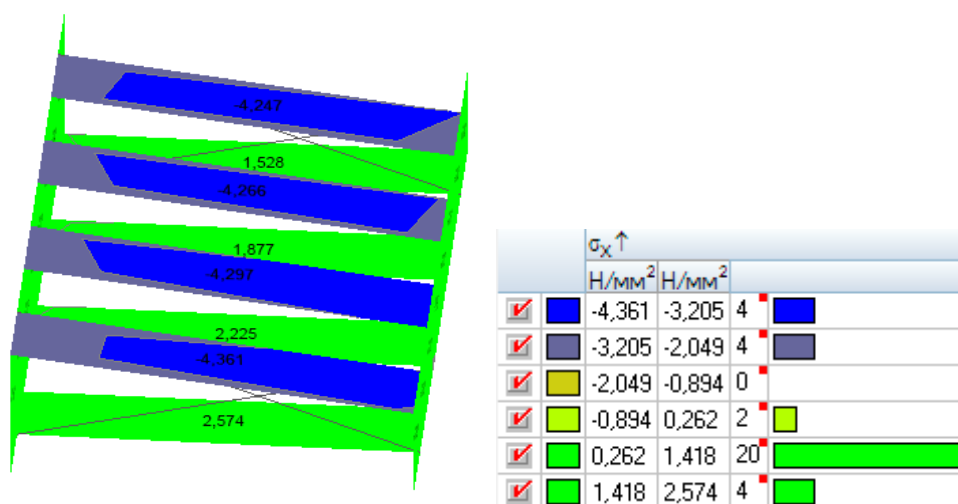


Рисунок 3.5.7 – Поля напряжений σ_x , МПа, на верхних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации C2 и $q_{расч}$

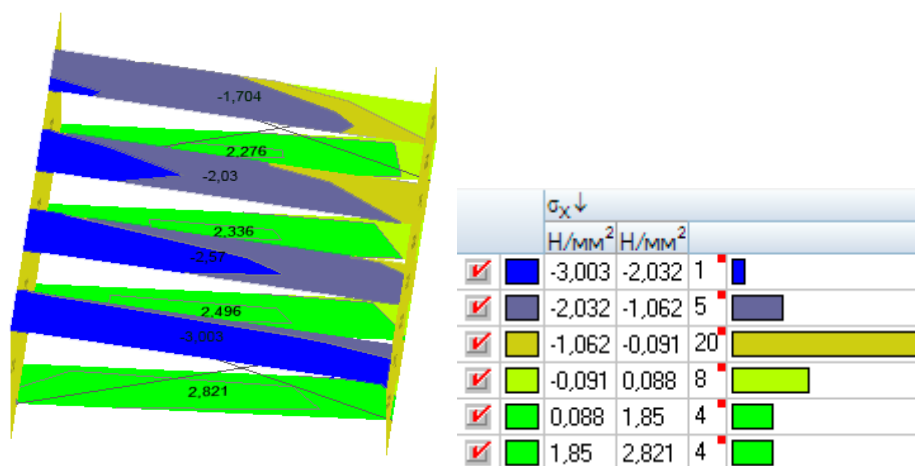


Рисунок 3.5.8 – Поля напряжений σ_x , МПа, на нижних волокнах в месте расположения тензорезисторов при комбинации C2 и $q_{расч}$

Анализируя таблицу 16, можно сделать вывод, что жесткость испытательной модели по сравнению с ее расчетной схемой в ПК SCAD оказалась выше (вероятно, реальный модуль упругости модели оказался выше нормативного, принятого по расчету). Напряжения при испытаниях, напротив, оказались выше расчетных, это можно объяснить тем, что распределение напряжений происходит неравномерно из-за сучков – они являются концентраторами напряжений.

Имеется также небольшая погрешность в измерении прогибов на ближней и дальней сторонах модели из-за фиксирования нитей прогибомеров на шпильках (на расстоянии 10 см от модели). Однако в сравнении с полученными значениями прогибов погрешность незначительная.

В целом, сходимость численных и экспериментальных данных удовлетворительная, максимальный процент расхождения составляет 17 %.

Заключение

В ходе данной дипломной работы было проведено исследование принципиально новой формы плиты покрытия в виде линзы из деревянных полосовых элементов. Исследовано воздействие на плиту напряжений, вызванных начальным выгибом поясов. Проведено численное моделирование исследуемой конструкции с использованием программного комплекса SCAD Office 21.1. Проанализировано влияние на жесткость плиты таких факторов, как толщина поясов, их начальный выгиб, количество стоек и различные варианты постановки вертикальных связей с заданием соответствующих вариантов расчетных схем. Разработан один из возможных узлов опирания плиты на несущую конструкцию. Изучена теория подобия, необходимая для создания уменьшенной копии конструкции.

После численного расчета и проверки несущей способности соединений была создана и испытана уменьшенная модель плиты. На основании проведенных испытаний можно сделать вывод, что исследуемая форма работоспособна и при своих преимуществах может быть использована в районе Крайнего Севера. При небольшом весе плита обладает минимальной металлоемкостью и, соответственно, более дешевая. Трудозатраты на изготовление и монтаж плиты также минимальны.

Необходимо проведение дальнейших теоретических и экспериментальных исследований с целью изучения возможности и условий применения линзообразных плит покрытия.

Список использованных источников

1. А. М. Ковальчук и др. Деревянные конструкции в строительстве, МИСИ, 1995, стр. 64.
2. Хисамов Р. И., Голубчиков А. В. Разработка и испытание новых плит покрытия пролетом 12, 18, 24 м с включением профилированного настила в работу пространственного каркаса // Тезисы докл. Всесоюзн. конф. По тонкостенным и пространственным конструкциям покрытия зданий. – Том. 11 – Таллин – 1986. – С. 81-82.
3. Комбинированные из стали, бетона, дерева пространственные конструкции блочного типа : учеб. пособие : в 2 ч. Ч. 1 / Л. В. Енджиевский [и др.]. – Красноярск : СФУ ; Омск : ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 321с.
4. А. С. 1479584 СССР. Пространственная плита покрытия и способ ее установки / Красноярский ПромстройНИИпроект; авт. В. П. Григорьев, С. В. Григорьев. Оpubл. Б И 1989, N 18.
5. Григорьев, С. В. Линзообразные блоки покрытия из металлического профилированного листа : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Григорьев Сергей Владимирович. – Новосибирск, 1995.
6. Пространственная плита покрытия: пат. 2163283 Рос. Федерация; МПК E04B1/343 E04B7/20 / С.В. Григорьев, Л.В. Енджиевский, В.П. Григорьев, А.Ю. Марышев, О.Ф. Новиков; заявитель и патентообладатель Красноярская государственная архитектурно-строительная академия. – № 99109765/03; заявл. 05.05.99; опубл. 20.02.01, Бюл. № 5 – 10 с. : ил.
7. СП 20.13330.2017 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Введ. 20.05.2017. – М.: ОАОЦПП, 2017. - 90с.
8. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – Введ. 28.08.2017. - Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2017.
9. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 28.08.2017 - Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2017.
10. Основы научных исследований: пособие для студентов технических специальностей / Г. М. Кузёмкина. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005.– 82 с.
11. Мастаченко, В. Н. Испытание строительных конструкций на моделях. Раздел «Теория и надежность моделей»: мет. разр. / В. Н. Мастаченко. – Москва: Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени институт инженеров железнодорожного транспорта МПС СССР, 1972.
12. Бокарев, С. В. Вопросы подobia усиленных железобетонных балок при экспериментах на уменьшенных масштабных моделях / С. В. Бокарев, С. В. Ефимов // Наукoведение: теоретический и науч.-практический интернет-журнал / ФГБОУ ВПО СГУПС. – Новосибирск, 2014. – Вып. 5 (24). – С. 55.
13. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1976. - 28 с.

Приложение А. Теплотехнический расчет линзообразной плиты покрытия

Характеристики элементов покрытия представлены в Таблице А.1.

Таблица А.1

Номер слоя	Наименование	Толщина слоя δ , м	Плотность материала γ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м*С)
1	Кровля из профлиста	0,008	1400	17,5
2	Минеральная вата	x	34	0,042

Теплофизические характеристики утеплителя принимаем в соответствии с приложением Т СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_0^{норм}$, (м²·°С)/Вт, следует определять по формуле 5.1 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$R_0^{норм} = R_0^{мп} \cdot m_p, \quad (A.1)$$

где $R_0^{мп}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимается равным 1.

Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год, определяют по формуле 6.2 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»:

$$ГСОП = (t_g - t_{om}) \cdot z_{om}, \quad (A.2)$$

где t_{om} , z_{om} – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность отопительного периода, сут/год. Принимаем $t_{om} = -15,2$ °С, $z_{om} = 296$ сут/год по таблице 3.1 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (для г. Дудинка);

t_g – расчетная температура внутреннего воздуха здания, $t_g = +20$ °С.

Подставляем значения в формулу (В.2), получаем

$$ГСОП = (20 - (-15,2)) \cdot 296 = 10419 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}.$$

Величина $ГСОП$ отличается от табличной. Согласно примечанию 1 таблицы 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», значение $R_0^{мп}$ для величин $ГСОП$, отличающихся от табличных, следует определять по формуле:

$$R_0^{мп} = a \cdot ГСОП + b, \quad (A.3)$$

где $ГСОП$ – то же, что и в формуле (А.2). $ГСОП=6221 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$;

a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» для соответствующих групп зданий. Коэффициент $a = 0,00025$; $b = 1,5$.

Подставляем значения в формулу (В.1), получаем

$$R_0^{mp} = 0,00025 \cdot 10419 + 1,5 = 4,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Сопrotивление теплопередаче $R_0, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, однородной многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями следует определять по формуле 8 СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»:

$$R_0 = (R_{si} + R_k + R_{se}) \cdot r, \tag{А.4}$$

где $R_{si} = 1 / \alpha_e, \alpha_e$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\alpha_e = 8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;

$R_{se} = 1 / \alpha_n, \alpha_n$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций для условий холодного периода, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;

r – коэффициент теплотехнической однородности конструкции наружных ограждений, принимаемый по табл. 8 СТО 00044807-001-2006, и равный 0,75;

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции $R_k, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, с последовательно расположенными однородными слоями следует определять по формуле 7 СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \tag{А.5}$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

Термическое сопротивление $R, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле 6 СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \tag{А.6}$$

где δ – толщина слоя, м , принимаемая по таблице 3; λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$, принимаемый по таблице 3.

Преобразуем формулу (А.4) с помощью формул (А.5) и (А.6), получим

$$R_0 = R_{si} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + R_{se}. \quad (\text{A.7})$$

Подставляем значения в формулу (A.7), получаем

$$\frac{4,1}{0,75} = \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,042} + \frac{1}{23} + \frac{0,007}{17,5}.$$

Выразим толщину слоя утеплителя x :

$$x = 0,042 \cdot \left(\frac{3,06}{0,75} - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,007}{17,5} \right) = 0,223 \text{ м} = 223 \text{ мм}.$$

Принимаем утеплитель для кровли из минеральной ваты ТЕХНОНИКОЛЬ 250 мм.

Приложение Б. Локальный ресурсный сметный расчет для линзообразного блока покрытия из металлического профлиста

Таблица Б.1 – Локальный сметный расчет ЛПП из металлического профлиста

№ пп	Обоснование	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость единицы, руб.					Общая стоимость, руб.					Затраты труда рабочих, чел-час		Затраты труда машин, маш-час	
					Всего	В том числе				Всего	В том числе				на ед.изм.	на конст р-ю	на ед.изм.	на конст р-ю
						ОЗП	Ст-ть мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы		ОЗП	Ст-ть мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы				
1	ГЭСН 09-04-002-01	Монтаж кровельного покрытия из профилированного листа при высоте здания до 25 м	100 м ²	36	132988,86	2970,08	5029,50	441,13	124989,28	47875,99	1069,23	1810,62	158,81	44996,14	135,5	48,78	2,93	1,05
2	ГЭСН 09-05-002-04	Электродуговая сварка при монтаже покрытий	10т	0,005	973855,39	7170,07	6685,31	3,75	960000	486,93	3,59	3,34	0,002	480	63,08	0,03	0,03	0
3	ГЭСН 12-01-013-03	Утепление покрытий плитами из минеральной ваты в один слой	100 м ²	36	69565,32	4108,44	1360,58	114,49	64096,3	25043,51	1479,04	489,81	41,22	23074,67	45,54	16,39	0,83	0,3
4	ГЭСН 12-01-013-04	На каждый последующий слой добавлять	100 м ²	72	55676,51	3180,731	1299,4784	114,4896	51196,3	40087,08	2290,13	935,62	82,43	36861,33	35,6	25,63	0,83	0,6
		Итого								113493,52					90,84		1,95	
		Итого / м ²								3152,6				2928		2,5		0,05

Примечание: скриншоты из прайс-листов для материалов в текущих ценах представлены в таблице Б.2 и рис. Б.1-Б.9.

Таблица Б.2 – Стоимость материалов по прайс-листам

№ п/п	Наименование	Дополнительные сведения и численные преобразования	Стоимость, руб
1	Профлист С44-1000-0,8 (рис. Б.1)	19835 руб. на один пояс => $19835 \cdot 2 = 39670$ руб	39670
2	Утеплитель - минеральная вата (рис. Б.2)	(при нормативной нагрузке $14,5 \text{ кг/м}^2$ и треб. толщине 250 мм и $\lambda = 0,037$ для $\rho = 84-110 \text{ кг/м}^3$) $14,5 / 0,25 = 58 \text{ кг/м}^3$ – принятая плотность утеплителя; требуемый объем $12 \cdot 3 \cdot 0,25 = 9 \text{ м}^3$, при $0,216 \text{ м}^3/\text{уп.}$ $9 / 0,216 = 42$ упаковки, $42 \cdot 1327 = 55292$ руб	55292
3	Промежуточные элементы - гнутые уголки из полосовой стали (рис. Б.3)	(при нормативной нагрузке $5,17 \text{ кг/м}^2$) 242 руб/кг => $242 \cdot 5,17 = 1251,14$ руб	1251,14
4	Полимерная пленка – армогидробутил (рис. Б.4)	(площадь покрытия 36 м^2) $129 \cdot 36 = 4644$ руб	4644
5	Уплотнитель (рис. Б.5)	(твердеющий состав на основе эпоксидной смолы и смеси из песка и цемента, заполнение – 300 мм от опоры по всей ширине плиты 3 м; высота заполнения 20-22 мм, вес $0,04 \text{ кг/м}^2$ => $m = 0,04 \cdot 3 \cdot 0,3 = 0,036 \text{ кг}$; в упаковке 0,1 кг, 171 руб)	171
6	Клей 88-Н (рис. Б.6)	-	225
7	ПВА-дисперсия (рис. Б.7)	-	899
8	Уголок равнополочный 32x32x4 – для раскосов (рис. Б.8)	Длина: $\frac{2 \cdot (1032 + 1074 + 1115 + 1145 + 1162)}{1000} \cdot 2 = 22,112 \text{ м}$ $1390 \cdot 2 = 2780$	2780
9	Электрод Э-42 (рис. Б.9)	$5 \cdot 96 = 480$ руб	480
		Итого, руб	105412,14
		Итого, руб / м ²	2928

Профилированный лист С-44х1000 (ОЦ-01-БЦ-0.8)

Код товара: 311339 Оценка покупателей: ☆☆☆☆☆ 0 отзывов

Профиль: С-44

Покрытие: Цинк

Цвет: Бесцветный

Толщина листа, мм: 0.45 0.5 0.55 0.65 0.7 0.8

Гарантия до 0.6 лет

Цена: 526,24 руб/м²

Выберите длину листа и количество листов: 12 * 1,047 * 3 = 37,692 м² x 526,24 руб = 19 835,03 руб

Общий метраж заказа: 37,692 м²

Общая сумма заказа: 19 835,03 руб

Купить | Заказать консультацию

Металл в наличии. Дата производства при заказе сегодня — 11.03.2020. Для заказов менее 20 м² — срок производства уточнит менеджер.

Рисунок Б.1 – Профлист С44-1000-0,8:

<https://krasnoyarsk.metallprofil.ru/shop/catalog/krovlya/profilirovannyye-listy/profilirovanny-list-s44kh1000-ots01bts08--311339/>

Плита минераловатная Технофас Оптима 1200х600х50 6 шт

Применение: для кровли, для фасада

Бренд: Технониколь

Структура: минераловатная

Посмотреть все характеристики

В наличии | Опт / Розница

1 327.44 руб.

Заказать | В корзину

Рисунок Б.1 – Минеральная вата Технофас Оптима:

https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/plita_mineralovatnaya_tekhnofas_optima_1200kh600kh50_6_sht_tekhnonikol_94387489

Полоса AISI 304 30х3 нержавеющей

242 руб./кг

Оптовая цена: 230 руб./кг от 500 кг

В наличии | Опт / Розница | 12.03.20

СтальЭнерго-96 сеть металлобаз с филиалами в таких городах как: Иркутск, Новосибирск, Красноярск предлагает широкий спектр металлопродукта, трубная продукция, метизы, трубопроводная арматура. Нержавеющий прокат Цветные металлы Строительный сортамент

Отправить заказ | В корзину

ПАО СтальЭнерго-96

5 ★★★★★

Красноярск

+7 показать номер

Сохранить поставщика

19 отзывов

Еще 284 товара поставщика

Рисунок Б.3 – Промежуточные элементы - гнутые уголки из полосовой стали:

https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/polosa_aisi_304_30kh3_nerzhaveyushchaya_99111594

Материал кровельный ТехноНИКОЛЬ Бикроэласт ЭПП

Артикул: 000032

Бренд: [ТЕХНОНИКОЛЬ](#)

Страна-производитель: РОССИЯ

Код производителя: 000032



В наличии

Цена за: рул м2

129⁰⁹ ₺

Количество:

– 15 +

Итого:

1 936³⁵ ₺

Рисунок Б.4 – Полимерная пленка – армигидробутил:

<https://www.tstn.ru/product/material-krovelnyy-tekhnonikol-bikroelast-epp-000032/>



1 комплект, прозрачная эпоксидная смола, высокая адгезия, 3:1, АВ, кристалл, клей, смола для изготовления ювелирных изделий

★★★★★ 4.7 < 245 Отзывы 561 заказа(ов)

170,93 руб. ~~211,01 руб.~~ -19%

Количество:

– 1 + 9971 шт. в наличии

Доставка: 138,41 руб.

В Russian Federation через Cainiao Saver Shipping For Special Goods >

Расчётное время доставки: 17/05

Купить сейчас

Добавить в корзину

3080

Защита покупателя в течение 80 д.
Гарантированный возврат средств



Рисунок Б.5 – Эпоксидная смола:

<https://aliexpress.ru/item/32956924668.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.7e9033ed4Yrbkd>

[Главная](#) / [Каталог товаров](#) / [Клей](#) / Клей 88 Н

Обновлено 11.03.2020



КЛЕЙ 88 Н

Под заказ

225 руб./кг

Заказать

Рисунок Б.6 – Клей 88-Н: http://www.sts124.ru/goods/69575064-kley_88_n



Клей ПВА - 10 кг ТЕКС

899 руб. 1 шт. В корзину

Сравнить В избранное

☆☆☆☆ (Нет голосов)

Характеристики	Задать вопрос	Отзывы
Бренд	Текс	
Материал	ПВА	
Артикул	0003835	
Базовая единица	шт	
Фасовка	10 кг	
Назначение	универсальный	

Найдите, чтобы увеличить изображение

Рисунок Б.7 – ПВА-дисперсия:

http://pilon.ru/catalog/otdelochnye_materialy/pena_kleya_germetiki/kley/kley_pva/kl_eu_pva_10_kg_teks/



+7 (391) **202-66-88** ЗАКАЗАТЬ ЗВОНОК




📍 > ГЛАВНАЯ > КАТАЛОГ > УГОЛОК СТАЛЬНОЙ > УГОЛОК 32Х32Х4

УГОЛОК 32Х32Х4



1390 Р. ШТ ТН + - 

Рисунок Б.8 – Уголок равнополочный 32х32х4 мм: <https://www.xn----itbqftgje.xn--p1ai/ugolok-stalnoy/ugolok-32kh32kh4.html>

Электроды АНО-6 ф 4,0 мм (тип Э42, пост. + перем. ток, рутил)
(пачка 5 кг, ЛЭЗ)

Применение Электроды для наплавки

Цена за кг
96 руб

Рисунок Б.9 – Электрод Э-42: <https://krasnoyarsk.v-p-k.ru/elektrody-e42/>

Приложение В. Локальный ресурсный сметный расчет для линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов

Таблица В.1 – Локальный сметный расчет ЛПП из деревянных полосовых элементов

№ пп	Обоснование	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость единицы, руб.					Общая стоимость, руб.					Затраты труда рабочих, чел-час		Затраты труда машин, маш-час	
					Всего	В том числе				Всего	В том числе				на ед.изм.	на констр-ю	на ед.изм.	на констр-ю
						ОЗП	Стоимость мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы		ОЗП	Ст-ть мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы				
1	ГЭСН 10-01-001-10	Укладка покрытий длиной 6 м площадью до 10 м2	1 шт.	1	8977,99	313,67	128,32	18,44	8536	8977,99	313,67	128,32	18,44	8536	3,81	3,81	0,02	0,02
2	ГЭСН 09-05-003-01	Постановка болтов строительных с гайками и шайбами	100 шт.	64	4503,73	1157,01	19,72	3,43	3327	2882,39	740,49	12,62	2,2	2129,28	4,88	3,12	0,03	0,02
3	ГЭСН 12-01-013-03	Утепление покрытий плитами из минеральной ваты в один слой	100 м ²	7,92	16361,28	4108,44	1360,58	114,49	10892,26	1295,81	325,39	107,76	9,07	862,67	45,54	3,61	0,83	0,07
4	ГЭСН 12-01-013-04	На каждый последующий слой добавлять	100 м ²	15,84	15372,47	3180,731	1299,4784	114,4896	10892,26	2435	503,83	205,84	18,14	1725,33	35,6	5,64	0,83	0,13

Окончание таблицы В.1

№ п/п	Обоснование	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость единицы, руб.					Общая стоимость, руб.					Затраты труда рабочих, чел-час		Затраты труда машин, маш-час	
					Всего	В том числе				Всего	В том числе				на ед.изм.	на констр-ю	на ед.изм.	на констр-ю
						ОЗП	Стоимость мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы		ОЗП	Ст-ть мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы				
5	ГЭСН 12-01-007-08	Устройство кровель из оцинкованной стали без настенных желобов	100 м ²	7,92	30335,55	7756,027	579,5232	88,5472	22000	2402,58	614,28	45,90	7,01	1742,4	72,8	5,77	0,63	0,05
		Итого								17993,76				14995,68		21,94		0,29
		Итого / м ²								2272				1893		2,77		0,04

Примечание: скриншоты из прайс-листов для материалов в текущих ценах представлены в таблице В.2 и рис. В.1-В.12.

Таблица В.2 – Стоимость материалов по прайс-листам

№ п/п	Наименование	Дополнительные сведения и численные преобразования	Стоимость, руб
1	Доска обрезная (рис. В.1)	400 руб/шт => общая стоимость $400 \cdot 8 = 3200$ руб	3200
2	Распорки (рис. В.2)	2 листа 1220x2440 мм $1570 \cdot 2 = 3640$ руб	3640
3	Гнутые пластины (рис. В.3)	-	1200
4	Болты М10х60 (рис. В.4)	Количество $4 \cdot 8 \cdot 2 = 64$ шт. Стоимость $32 \cdot 64 / 2 = 1024$ руб.	1024
5	Гайки под М10 (рис. В.5)	Количество 64 шт. или 13 уп. $18 \cdot 13 = 234$ руб.	234
6	Шайбы под М10 (рис. В.6)	Количество 64 шт. или 22 уп. $22 \cdot 21 = 462$ руб.	462
7	Саморезы 4,2x70 (рис. В.7)	Количество $2 \cdot 4 \cdot 8 + 6 = 64$ шт.	187
8	Саморезы 4,8x35 (рис. В.8)	Количество $6 \cdot 12 \cdot 2 = 144$ шт. $0,45 \cdot 144 = 65$ руб.	65

Окончание таблицы В.2

№ п/п	Наименование	Дополнительные сведения и численные преобразования	Стоимость, руб
9	Болты М6х35 (рис. В.9)	Количество $2 \cdot 12 \cdot 2 = 48$ шт. $48 / 3 = 16$ уп. $16 \cdot 23 = 365$ руб.	368
10	Гайки под М6 (рис. В.10)	Количество 48 шт. $0,86 \cdot 48 = 41,28$ руб.	41,28
11	Труба стальная (рис. В.11)	$2 \cdot 122 = 244$ руб.	244
12	Профлист- покрытие (рис. В.12)	$220 \cdot 7,92 = 1742,4$ руб	1742,4
13	Минеральная вата – утеплитель (рис. В.13)	Необходимый объем $1320 \cdot 6000 \cdot 250 / 1000000000 = 1,98$ м ³ $1,98 / 0,576 = 4$ уп. $4 \cdot 647 = 2588$ руб	2588
		Итого, руб	14955,68
		Итого, руб / м ²	1893

Доска обрезная 40x165x6000 ГОСТ

Главная » Доска обрезная 40x165x6000 ГОСТ



Технические характеристики:

Название	Доска обрезная
Сорт	первый
Размер	40x165
Длина	6 метров
Материал	Хвоя

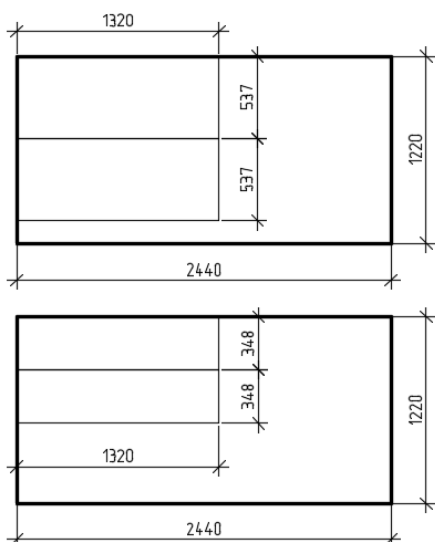
Цена за куб, за штуку

Естеств. вл Гост 8000 руб/куб, 400 руб/шт

Купить

В наличии

Рисунок В.1 – Доска обрезная 40x165x6000: <https://doskov.ru/doska-obreznaya-40-na-165-mm-6-metrov-cena-za-shtuku>



Фанера хвойная, марка ФСФ, НШ, формат: 2440*1220 мм										
Сорт	5мм	7мм	9мм	12мм	15мм	18мм	21мм	24мм	27мм	30мм
3/3			750	940	1150	1350	1570	1700	2160	2400
4/4			730	920	1130	1320	1500	1650	2100	2350
листов в м3		51,68	37,33	27,99	22,4	18,66	16	14	12,44	11,19

Рисунок В.2 – Раскладка распорок на листах фанеры хвойной 2440x1220 мм: <http://www.xn--90afmb4bcf0g.xn--p1ai/produkcziya/fanera/fanera-xvojnaya>



Лист стальной 2 мм 0,625x1,25 м г/к (арт. лист металла - 2*0,625*1,25)

Аукцион г. Красноярск / Строительство и ремонт / Строительные материалы / Металлопрокат / Лот №14768608

Цена

1 200 руб

Купить сейчас

4 ч 20 мин 34 сек до конца торгов (14 март 2020 13:37)

Красноярск, Центр на карте

+7 391 271 XX XX показать контакты

Другие лоты продавца

Уголок металлический 75x75x6 длина 6 м и др. металлопрокат (арт. угол стальной 75 - 75x75)

Магазин ВладГун

О продавце

Все товары

Рисунок В.3 – Лист стальной для гнутых пластин: <https://krsk.au.ru/14768608-list-stalnoj-2-mm-0-625h1-25-m-g-k-art-list-metalla/>



Арт. 10962115

Болт М10х60 мм, 2 шт.

Отзывов нет [Оставить отзыв](#)

32 ₺ / шт.

[В корзину](#)

В наличии

Доставим 15 марта

от 60 ₺

Самовывоз в магазине 15 марта

бесплатно

Наличие в магазинах

Леруа Мерлен Красноярск Планета	53 шт.
Леруа Мерлен Красноярск Калинина	39 шт.
Леруа Мерлен Красноярск ТЦ Мега	33 шт.

Рисунок В.4 – Болты М10х60 мм: <https://krasnoyarsk.leroymerlin.ru/product/bolt-m10h60-mm-10962115/>



Арт. 10964006

Гайка DIN 934 М10, 5 шт.

★★★★★ 2 отзыва

18 ₺ / шт.

[В корзину](#)

В наличии

Доставим 15 марта

от 60 ₺

Самовывоз в магазине 15 марта

бесплатно

Наличие в магазинах

Леруа Мерлен Красноярск ТЦ Мега	246 шт.
Леруа Мерлен Красноярск Калинина	106 шт.
Леруа Мерлен Красноярск Планета	65 шт.

Рисунок В.5 – Гайки под М10: <https://krasnoyarsk.leroymerlin.ru/product/gayka-din-934-m10-10964006/>

Лерой Мерлен

Каталог Поиск

СПИСОК ПОКУПОК КОРЗИНА

ГЛАВНАЯ КАТАЛОГ СКОБЯНЫЕ ИЗДЕЛИЯ КРЕПЕЖ ШАЙБЫ КРЕПЕЖНЫЕ

Арт. 10966343

Шайба кузовная DIN 9021 12 мм, 3 ШТ.

Отзывов нет Оставить отзыв

21 Р /шт.

В корзину

В наличии

Доставим 15 марта от 60 Р

Самовывоз в магазине 15 марта бесплатно

Наличие в магазинах

Леруа Мерлен Красноярск ТЦ Мега	156 шт.
Леруа Мерлен Красноярск Планета	122 шт.
Леруа Мерлен Красноярск Калинина	82 шт.

Рисунок В.6 – Шайбы под М10: <https://krasnoyarsk.leroymerlin.ru/product/shayba-kuzovnaya-din-9021-12-mm-10966343/>

Саморез Качественный Крепеж 4,2x70 потай, крупная резьба, оксид 100 шт 0200375 КЧ

Код товара: 15693503 ★★★★★

Экономия 75 р. спасибо

Последняя цена **187 р.**

В избранное Сравнить

Рисунок В.7 – Саморезы 4,2x70: <https://www.vseinstrumenti.ru/krepezh/samorezy/po-derevu/kachestvennyj-krepezh/4-2h70-potaj-krupnaya-rezba-oksid-100-sht-0200375-kch/>

Саморез 3,5*35 по металлу черный

0.45 руб./шт.

В наличии | Опт | 13.05.20

Промкомплект

★★★★★

Пермь

+7 показать ном

Рисунок В.8 – Саморезы 4,8x35: https://perm.pulscen.ru/products/samorez_3_5_35_po_metallu_cherny_22185467



Арт. 10961323

Болт М6х60 мм, 3 шт.

Отзывов нет. Оставить отзыв

23 ₺ / шт.

В корзину

В наличии

Доставим 20 мая

Самовывоз в магазине 19 мая

В пункте выдачи 20 мая

Посмотреть наличие в магазинах

В список покупок

В сравнение

Рисунок В.9 – Болты М6х35 мм: <https://leroymerlin.ru/product/bolt-m6x60-mm-10961323/>

Главная / Каталог / Метрический крепеж / Гайки / **Гайка 6 шаг резьбы 1/4 дюйма ключ 11**



0,86 ₺

В наличии

Наличие товара в магазинах уточняйте по телефону

Гайка 6 шаг резьбы 1/4 дюйма ключ 11



0,86 ₺

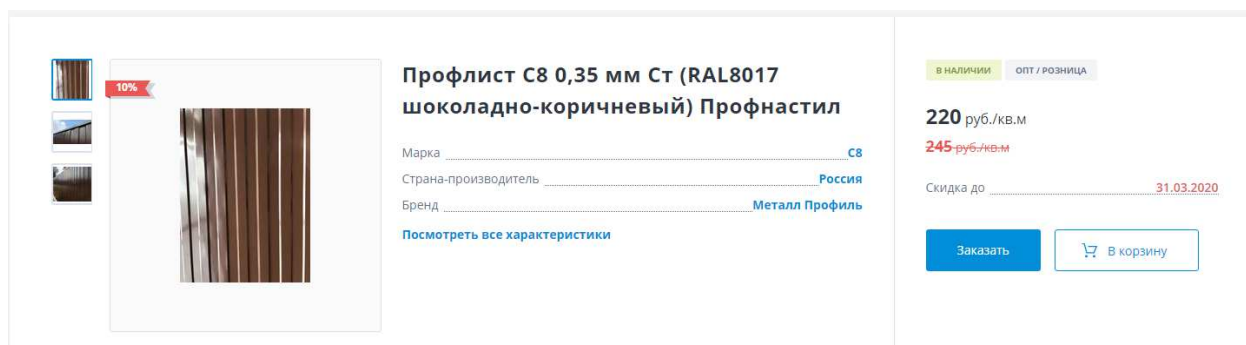
Рисунок В.10 – Гайки под М6: <https://krepeg24.ru/catalog/metricheskij-krepezh/gajki/gajka-6-shag-rezby-1-4-dyujma-klyuch-11.html>

Тонны: 0.00237
Метры: 1.4
Рассчитать стоимость
Печать
В закладки

Сталь: оцинк.

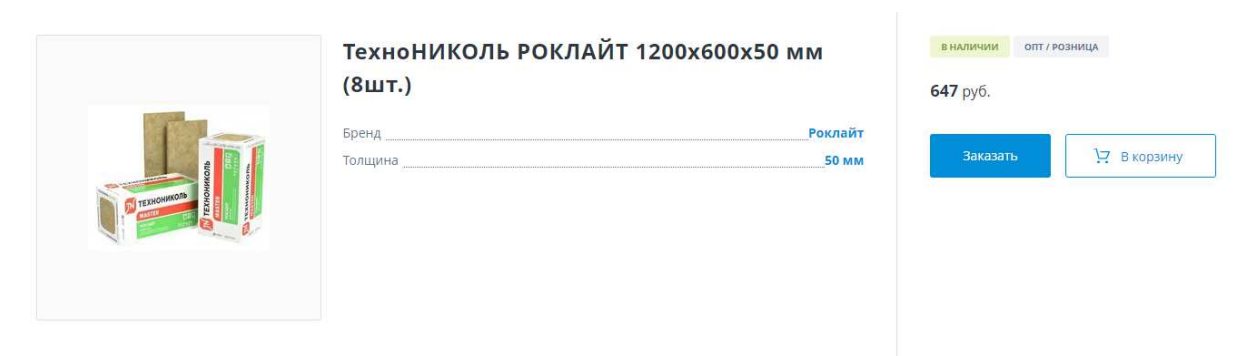
Все	Все	Все	↑ ↓	↑ ↓	Все
Наименование	Длина	Сталь	Цена 1	Цена 2	Розн. Поставщи
трубы стальные эс 40x1,8		оцинк.		122	ЗАВОД
трубы стальные эс 40x1,8 шов		оцинк.		122	ЗАВОД
трубы стальные эс 40x1,8				122	ЗАВОД

Рисунок В.11 – Труба стальная: <https://www.xn---itbqftgje.xn--plai/truba/truba-besshovnaya-tselnotyanutaya/truba-besshovnaya-gd/truba-tc-t-g-d-38-3.html>



Профлист С8 0,35 мм Ст (RAL8017 шоколадно-коричневый) Профнастил
 Марка: С8
 Страна-производитель: Россия
 Бренд: Металл Профиль
 Скидка до 31.03.2020
 Цена: 220 руб./кв.м (245 руб./кв.м)
Заказать **В корзину**

Рисунок В.12 – Профлист для покрытия: https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/profilirovanny_list_s8_stal_st_ral_ral_8017_shokoladno_korichnevy_11943236



ТехноНИКОЛЬ РОКЛАЙТ 1200x600x50 мм (8шт.)
 Бренд: Роклайт
 Толщина: 50 мм
 Цена: 647 руб.
Заказать **В корзину**

Рисунок В.13 – Минеральная вата – утеплитель: https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/tekhnonikol_roklayt_1200kh600kh50_mm_8_sht_129659506

Приложение Г. Численный расчет линзообразной плиты покрытия из металлических стержневых элементов

Г.1 Задание расчетной схемы и сбор нагрузок

Плита покрытия состоит из поясов разреженной структуры, образованных металлическими стержневыми элементами с сечением из квадратных труб. Стержни образуют изогнутые очертания элементов поясов, а сами элементы расположены на некотором расстоянии друг от друга. В раздвинутом состоянии пояса поддерживаются уголками по типу линзообразного блока из профлиста (рис. Г.1).

Пространственная модель плиты, элементами которой являются стержни, показана на рис. Г.1.

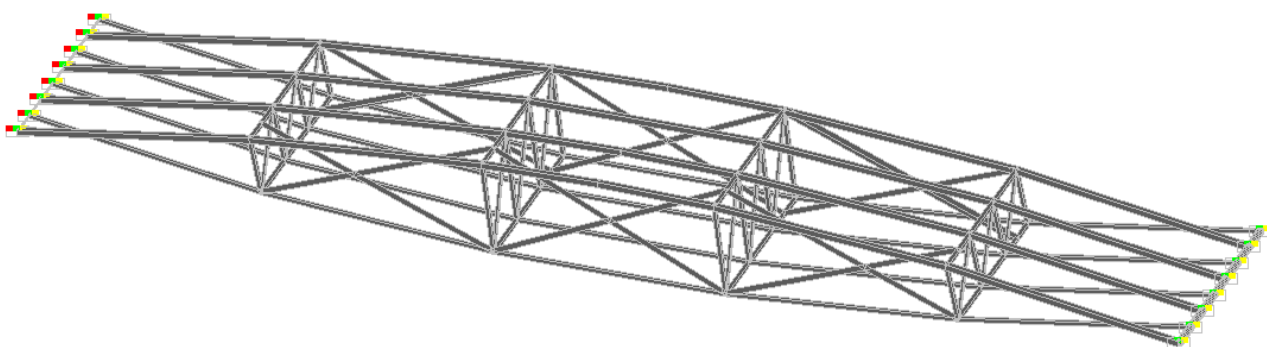


Рисунок Г.1.1 – Расчетная схема плиты в программе SCAD

Исходные данные:

- Район– г. Дудинка
- Длина плиты – 6 м
- Ширина плиты – 1,155 м
- Соединение с опорой – шарнирное
- Соединение раскосов с поясами – шарнирное
- Шаг элементов поясов – 300 мм
- Количество элементов в поясе – 4 шт
- Начальный прогиб досок $h_0=0,3$ м
- Высота плиты $H=h_0 \cdot 2=0,6$ м.

Связи плиты в узлах – с одной стороны шарнирно-подвижная, ограничивающая перемещение вдоль осей y и z , и шарнирно-неподвижная с другой стороны, ограничивающая перемещение по всем трем осям x , y и z .

Примем следующие жесткостные характеристики:

- Верхний пояс: 30x3 мм (труба квадратная по ГОСТ Р 54157-2010 из стали С345);
- Нижний пояс: 20x1 мм (труба квадратная по ГОСТ Р 54157-2010 из стали С345);

- Стойки: L20x3 мм (уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 из стали С345);
- Раскосы: L30x3 мм (уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 из стали С345);
- Связи по верхнему и нижнему поясам: 20x1 мм (труба квадратная по ГОСТ Р 54157-2010 из стали С345);
- Стержень для крепления элементов поясов на шарнирно-неподвижном торце плиты: 10x1 мм (труба круглая электросварная прямошовная по ГОСТ 10704-91 из стали С345);
- Стержень для крепления элементов поясов на шарнирно-подвижном торце плиты: 38x6 мм (труба круглая электросварная прямошовная по ГОСТ 10704-91 из стали С345).

Карты распределенных нагрузок показаны на рис. Г.1.2-Г.1.5. Значения нагрузок были собраны аналогично сбору нагрузок во втором варианте плиты покрытия (линзообразной из деревянных полосовых элементов) и были сведены от распределенных по площади к распределенным по линии умножением на ширину доски 165 мм (или расстояние между осями стержней поясов).

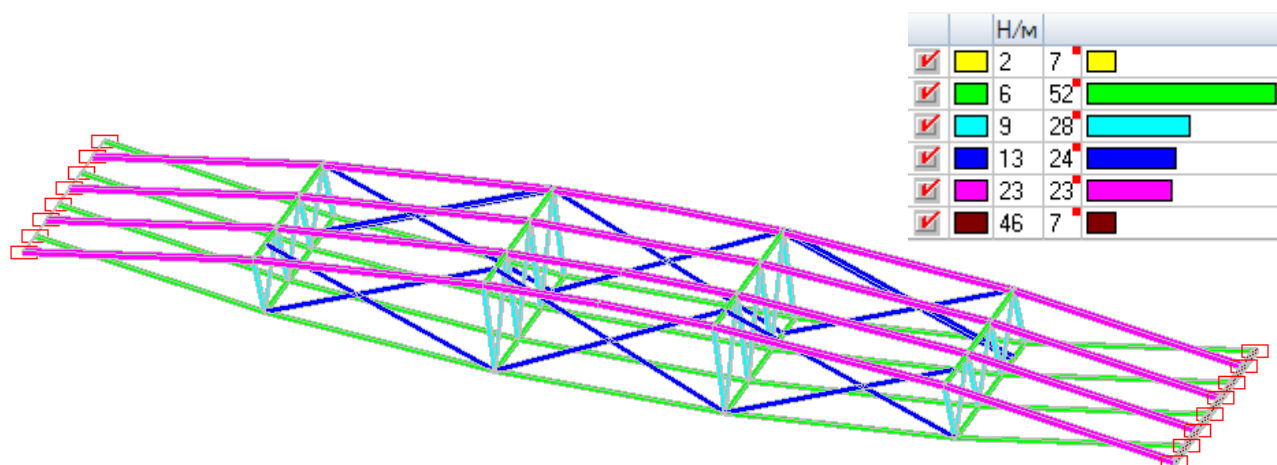


Рисунок Г.1.2 – Карта распределенных нагрузок при действии собственного веса

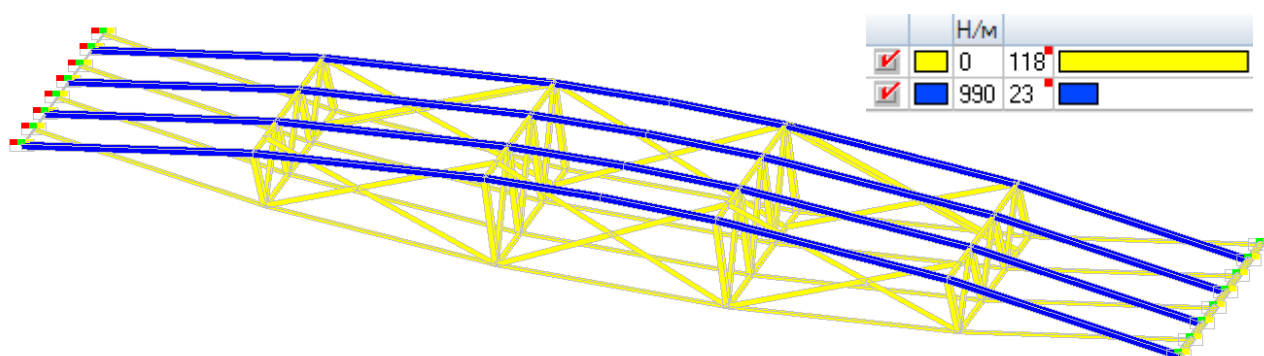


Рисунок Г.1.3 – Карта распределенных нагрузок при Варианте 1 снеговой загрузки

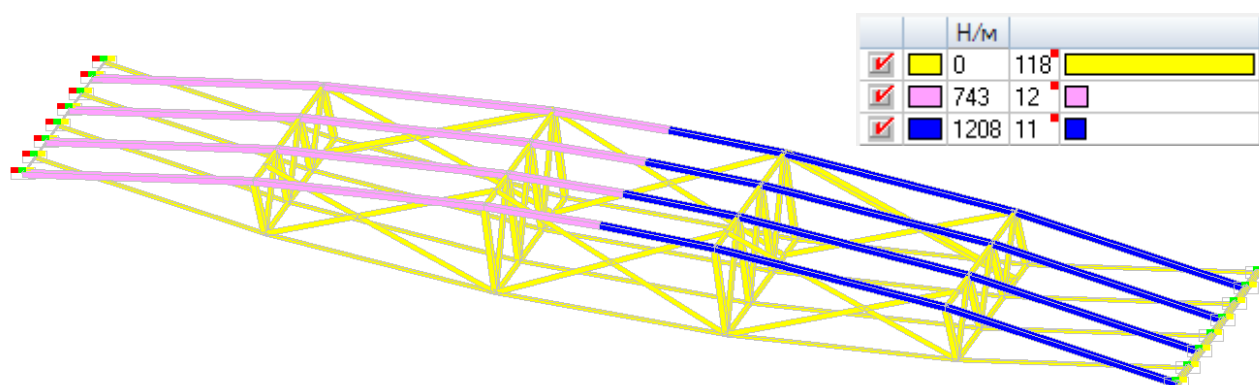


Рисунок Г.1.4 – Карта распределенных нагрузок при Варианте 2 снегового нагружения

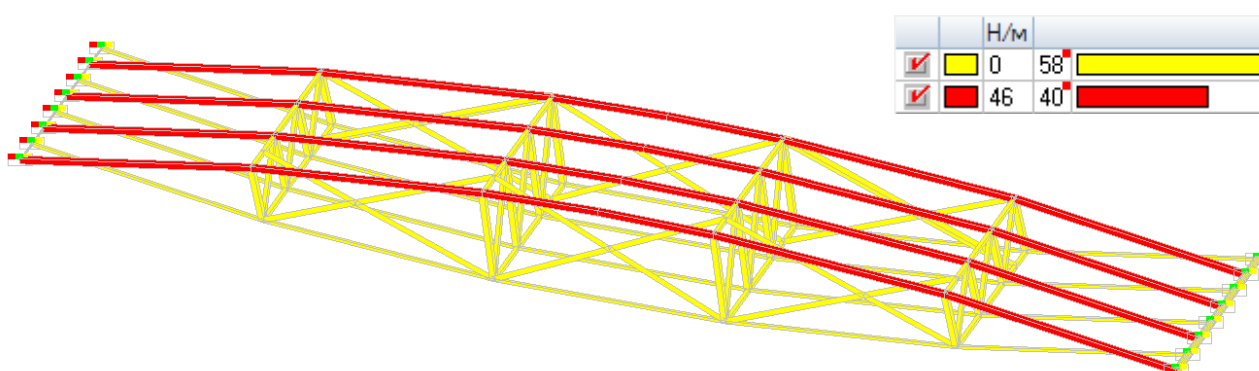


Рисунок Г.1.5 – Карта распределенных нагрузок от утеплителя и покрытия

По аналогии с Вариантом 2 (ЛПП из деревянных полосовых элементов), в линзообразной плите из металлических квадратных труб будут возникать начальные напряжения из-за их начального выгиба. Найдем значения равномерно-распределенной нагрузки, необходимой для того, чтобы прогнуть стержни поясов длиной $l_n = 6000 \text{ мм}$ на начальный прогиб $f = 300 \text{ мм}$.

Момент инерции для стержней верхнего пояса (труба квадратная по ГОСТ Р 54157-2010, сечение $30 \times 1,5 \text{ мм}$) равен $J = 22400 \text{ мм}^4$. Момент инерции для стержней нижнего пояса (труба квадратная по ГОСТ Р 54157-2010, сечение $15 \times 10 \text{ мм}$) равен $J = 1700 \text{ мм}^4$. Модуль упругости стали $E = 206010 \text{ Н/мм}^2$. Подставим данные значения в формулу (2):

$$q_{в.п.} = \frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5 \cdot l_n^4} = \frac{384 \cdot 300 \cdot 206010 \cdot 15400}{5 \cdot 6000^4} = 0,082 \text{ Н / мм}$$

$$q_{н.п.} = \frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5 \cdot l_n^4} = \frac{384 \cdot 300 \cdot 206010 \cdot 1700}{5 \cdot 6000^4} = 0,0062 \text{ Н / мм}$$

Переведем для удобства найденные величины в размерность Н/м :

$$q_{6.n.} = 0,082 H / мм = 82 H / м$$

$$q_{н.н.} = 0,0062 H / мм = 6,2 H / м.$$

Карта распределенных нагрузок от начальных напряжений приведена на рис. Г.1.6.

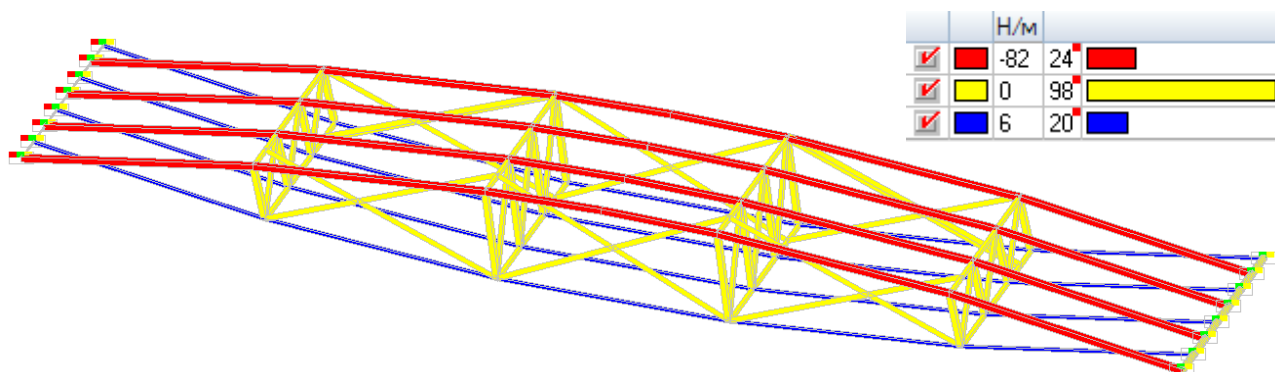


Рисунок Г.1.6 – Карта распределенных нагрузок от начальных напряжений при изгибе стержней поясов

Комбинации загрузок и расчетные сочетания усилий представлены на рис. Г.1.7-Г.1.8. Комбинация С1 включает в себя нагрузку от собственного веса плиты, веса утеплителя и покрытия, варианта 1 снеговой нагрузки (равномерно распределенная нагрузка) и начальных напряжений. Комбинация С2 включает в себя нагрузку от собственного веса плиты, веса утеплителя и покрытия, варианта 2 снеговой нагрузки (односторонняя нагрузка) и начальных напряжений. Комбинация С3 включает в себя нагрузку от собственного веса плиты, веса утеплителя и покрытия; она необходима для того, чтобы посчитать общую массу плиты.

	Загрузки/Комбинации	Коэффициент	
1	снег 1	1	<input type="checkbox"/> Запись <input checked="" type="checkbox"/> Удаление <input type="checkbox"/> Новая к <input type="checkbox"/> Загрузи <input type="checkbox"/> Сохран
2	св	1	
3	утепл+покр	1	
4	снег 2	0	
5	нач напр	1	
Комбинации загрузок			
	Комбинации загрузок	Название	
1	[L1]*1+[L2]*1+[L3]*1+[L5]*1	C1	
2	[L2]*1+[L3]*1+[L4]*1+[L5]*1	C2	
3	[L2]*1+[L3]*1	"св"+"утепл+покр"	

Рисунок Г.1.7 – Комбинации загрузок

Загрузки												
	Активное загружение	Активное загружение в РСП	Наименование	Тип загрузки	Вид нагрузки	Знакоп ременны е	Участвуют в групповых операциях				Кэф. надежно сти	Доля длитель ности
							Объедин ения	Ззаимоис ключени	Сопутствия			
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	снег 1	Кратковременн	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0,3
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	св	Постоянные на	Вес металличе	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,05	1
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	утепл+покр	Постоянные на	Вес бетонных к	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	снег 2	Кратковременн	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0,3
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нач напр	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$(L1)*1+(L2)*1+(L3)$	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$(L2)*1+(L3)*1+(L4)$	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$(L2)*1+(L3)*1$	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1

Рисунок Г.1.8 – Расчетные сочетания усилий

Г.2 Результаты расчета

Результаты расчета представлены на рис. Г.2.1-Г.2.9. Усилия вычислены от расчетных нагрузок (по 1-ому предельному состоянию), а перемещения - от нормативных нагрузок (по 2-ому предельному состоянию). Эпюры усилий показаны для наиболее напряженного (центрального) фрагмента схемы.

Результаты расчета стали представлены на рис. Г.2.3. По результатам расчета можно сделать вывод, что прочность элементов плиты при действии наиболее неблагоприятной комбинации нагрузок (С2) обеспечена

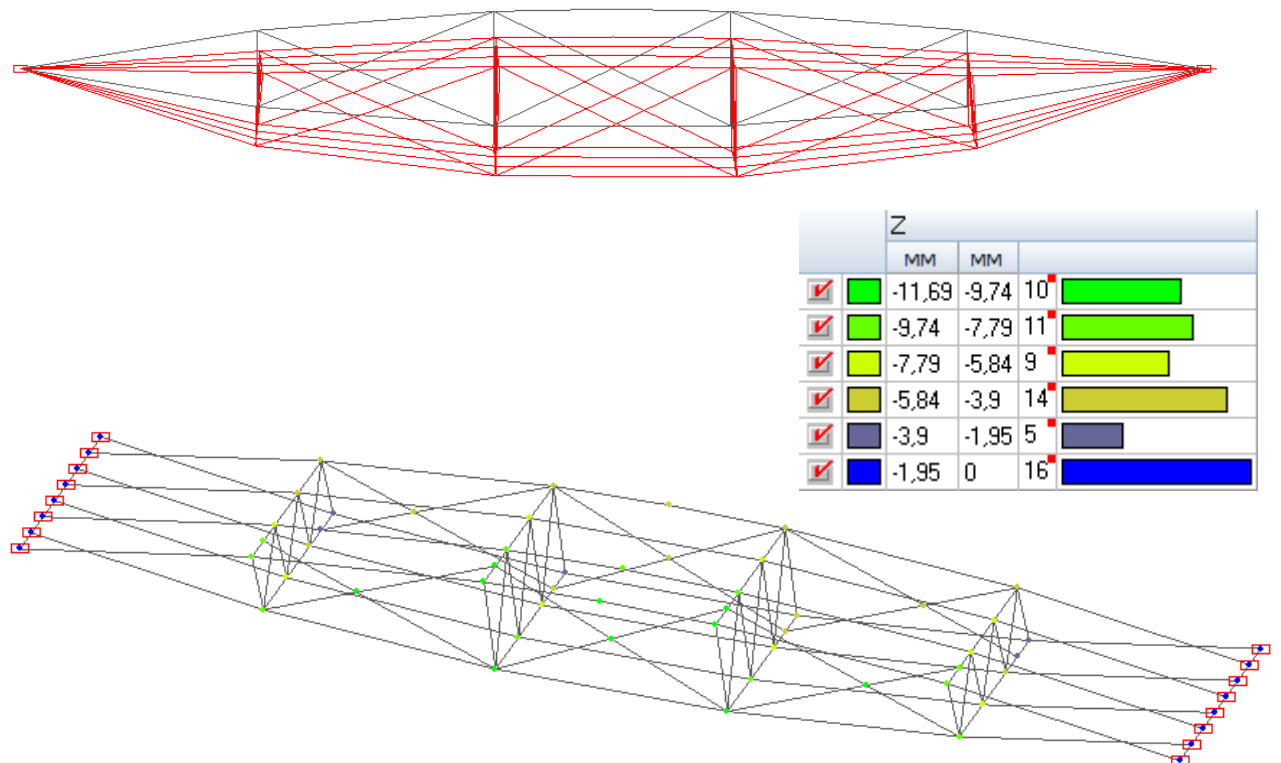


Рисунок Г.2.1 - Деформированная схема и перемещения при комбинации С1

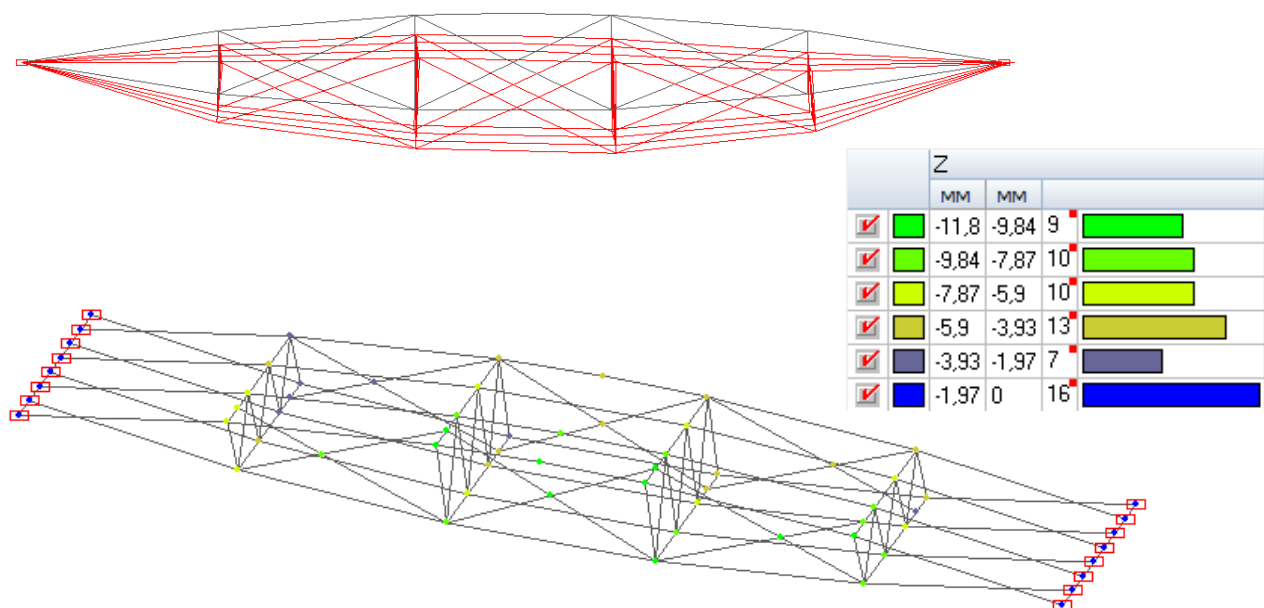


Рисунок Г.2.2 - Деформированная схема и перемещения при комбинации С2

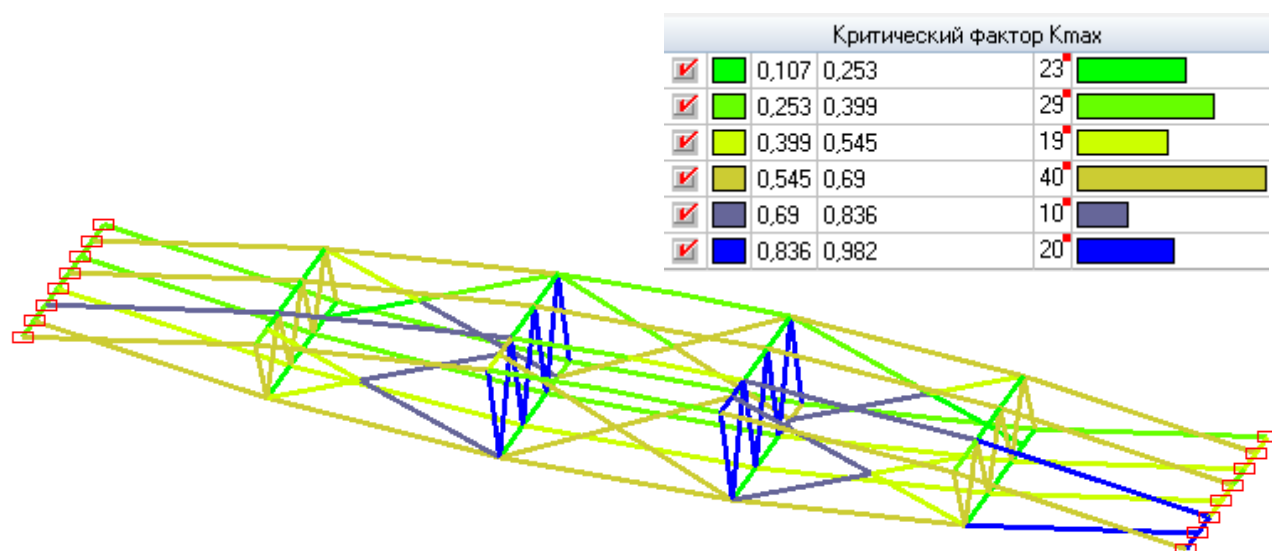


Рисунок Г.2.3 – Результаты расчета стали по K_{max}

Проверка жесткости

В соответствии с [7, табл. Д.1], предельные вертикальные прогибы плит покрытий, открытых для обзора, регламентируются эстетико-психологическими требованиями. При пролете $l=6$ м предельный прогиб равен

$$[f] = \frac{l}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ мм.}$$

$|Z_{max}| = 11,8 \text{ мм} < [f] = 30 \text{ мм} \Rightarrow$ жесткость плиты покрытия обеспечена. Запас жесткости равен 61 %.

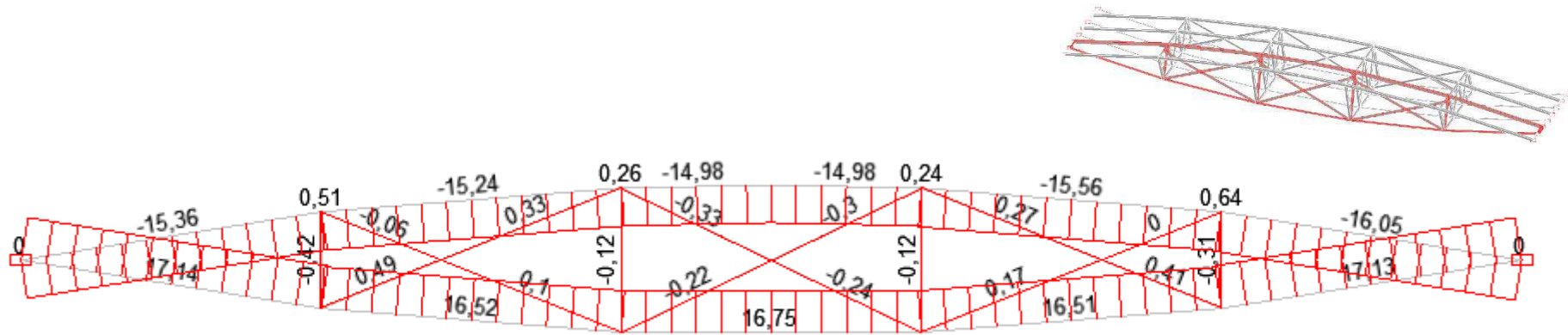


Рисунок Г.2.4 – Эпюра усилий N , $кН$, при комбинации С1

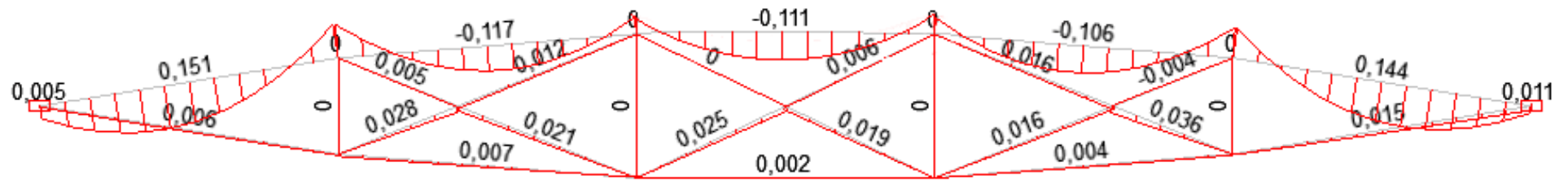


Рисунок Г.2.5 – Эпюра усилий M_y , $кНм$, при комбинации С1

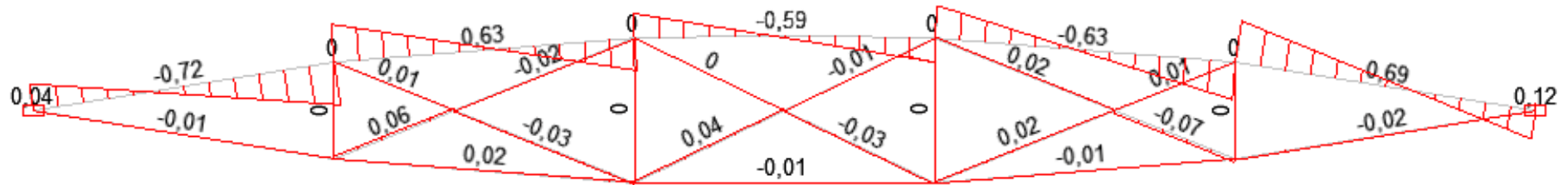


Рисунок Г.2.6 – Эпюра усилий Q_z , $кН$, при комбинации С1

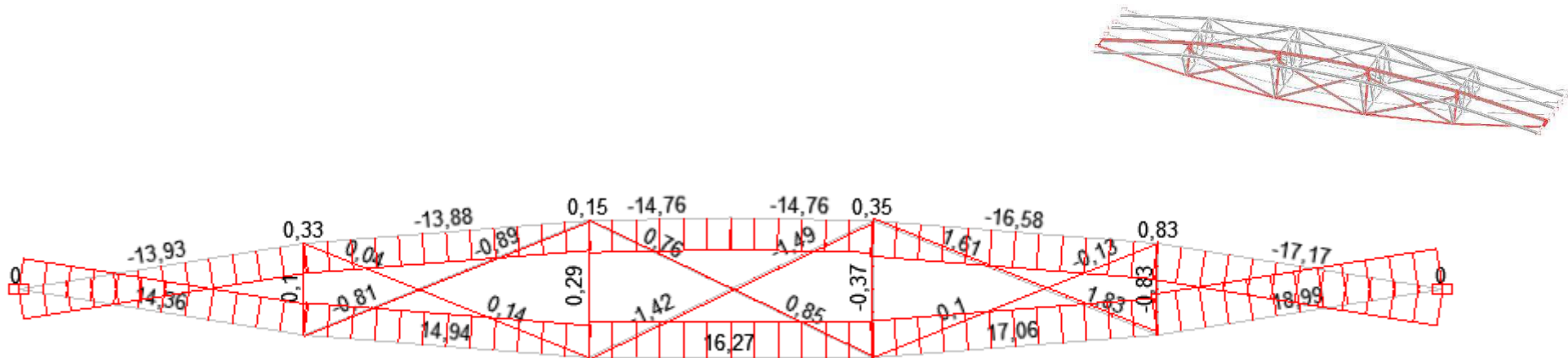


Рисунок Г.2.7 – Эпюра усилий N , $кН$, при комбинации С2

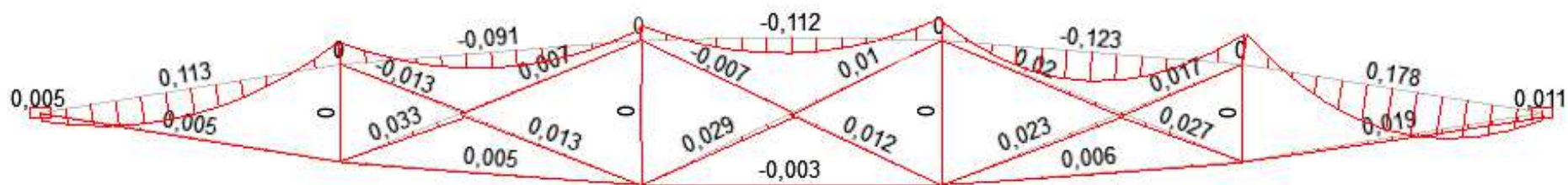


Рисунок Г.2.8 – Эпюра усилий M_y , $кНм$, при комбинации С2

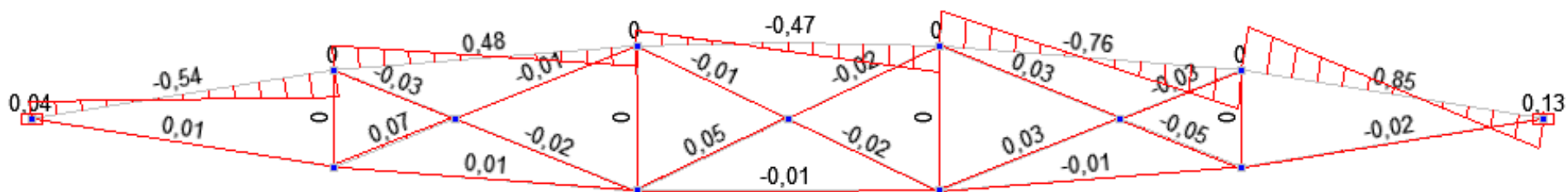


Рисунок Г.2.9 – Эпюра усилий Q_z , $кН$, при комбинации С2

Масса элементов плиты, задействованных в расчетной схеме, в совокупности с весом утеплителя и покрытия выведена при помощи ПК SCAD суммированием реакций R_{zi} , кг, в опорных узлах расчетной схемы от комбинации СЗ = «св» + «утепл+покр». Реакции R_{zi} представлены в таблице Г.1.

Таблица Г.1 – Реакции в опорных узлах плиты

№	X	Y	Z	Связи	RZ
	м	м	м		кг
28	6	0,33	0	Y,Z	21
72	6	0,99	0	Y,Z	20
27	0	0,33	0	X,Y,Z	19,38
71	0	0,99	0	X,Y,Z	18,36
50	6	0,66	0	Y,Z	17,48
49	0	0,66	0	X,Y,Z	17,26
361	6	0,165	0	Y,Z	17,2
363	6	0,825	0	Y,Z	16,24
16	0	0,165	0	X,Y,Z	15,7
60	0	0,825	0	X,Y,Z	15,37
362	6	0,495	0	Y,Z	13,53
38	0	0,495	0	X,Y,Z	13,18
11	6	0	0	Y,Z	12,2
5	0	0	0	X,Y,Z	11,96
364	6	1,155	0	Y,Z	6,32
82	0	1,155	0	X,Y,Z	5,8
					Σ240,98

Информация о массе металлических элементов в плите, не учтенных в расчетной схеме, содержится в таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Металлоемкость вспомогательных элементов линзообразной плиты покрытия из металлических труб квадратного сечения

№ п/п	Наименование элемента	Размеры, марка	Кол-во	Масса 1 шт., кг	Масса общая, кг
1	Электрод Э42	Упаковка	1	3,5	3,5
Общая масса плиты					244,48

Приложение Д. Локальный ресурсный сметный расчет для линзообразной плиты покрытия из металлических труб

Таблица Д.1 – Локальный сметный расчет ЛПП из металлических труб

№ пп	Обоснование	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость единицы, руб.					Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел-час		Затраты труда машин, маш-час		
					Всего	В том числе				Всего	В том числе			на ед.изм.	на констр-ю	на ед.изм.	на констр-ю	
						ОЗП	Стоимость мех-мов	в т.ч. з/п маш	Мат-лы		ОЗП	Ст-ть мех-мов	в т.ч. з/п маш					Мат-лы
1	ГЭСН 09-03-012-01	Монтаж стропильных и подстропильных ферм на высоте до 2 м пролетом до 4 м и массой до 3 т	т	0,24	48273,35	2211,64	5884,10	684,79	40177,61	11632,91	532,96	1417,95	165,02	9682	25,53	6,15	4,92	1,19
2	ГЭСН 09-05-002-04	Электродуговая сварка при монтаже покрытий	10т	0,005	1357855,39	7170,07	6685,31	3,75	1344000	678,93	3,59	3,34	0,002	672	63,08	0,03	0,03	0
3	ГЭСН 12-01-013-03	Утепление покрытий плитами из минеральной ваты в один слой	100 м ²	7,2	17450,50	4108,44	1360,58	114,49	11981,48	1256,44	295,81	97,96	8,24	862,67	45,54	3,28	0,83	0,06
4	ГЭСН 12-01-013-04	На каждый последующий слой добавлять	100 м ²	14,4	16461,69	3180,731	1299,4784	114,4896	11981,48	2370,48	458,03	187,12	16,49	1725,33	35,6	5,13	0,83	0,12

Окончание таблицы Д.1

№ пп	Обоснование	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел-час		Затраты труда машин, маш-час			
					Всего	В том числе			Всего	В том числе			на ед.изм.	на констр-ю	на ед.изм.	на констр-ю		
						ОЗП	Стоимость мех-мов	в т.ч. з/п маш		Мат-лы	ОЗП	Ст-ть мех-мов					в т.ч. з/п маш	Мат-лы
5	ГЭСН 12-01-007-08	Устройство кровель из оцинкованной стали без настенных желобов	100 м ²	7,92	28970,08	7756,027	579,5232	88,5472	22000	2136,03	549,5	2,53	5,51	1584	72,8	5,77	0,63	0,05
		Итого								18074,79				14526		20,35		1,41
		Итого / м ²								2510,4				2018		2,83		0,2

Примечание: скриншоты из прайс-листов для материалов в текущих ценах представлены в таблице Д.2 и рис. Д.1-Д.9.

Таблица Д.2 – Стоимость материалов по прайс-листам

№ п/п	Наименование	Дополнительные сведения и численные преобразования	Стоимость, руб
1	Труба бесшовная 38х6 мм – для шарнирно-неподвижной опоры (рис. Д.1)	-	1269
2	Труба квадратная 30х3 мм – для верхнего пояса (рис. Д.2)	$m = 3,49 \text{ кг/м}, 3,49 \cdot 24 = 83,76 \text{ кг}$ $40000 / 1000 \cdot 83,76 = 3350 \text{ руб}$	3350
3	Труба квадратная 20х1 мм – для нижнего пояса (рис. Д.3)	24 м, $77 \cdot 24 = 1848 \text{ руб}$	1848
4	Труба круглая 10х2 мм – для шарнирно-подвижной опоры (рис. Д.4)	-	145
5	Уголок равнополочный 30х30х3 мм – для раскосов (рис. Д.5)	Длина: $1293 \cdot 4 + 1331 \cdot 2 = 7834 \text{ мм} = 8 \text{ м}$ $m = 1,86 \text{ кг/м} \cdot 12 \text{ м} (2 \text{ уголка}) = 22,32 \text{ кг}$ $75000 / 1000 \cdot 22,32 = 1674 \text{ руб}$	1674
6	Труба квадратная 20х1 мм – для связей (рис. Д.3)	10 м, $77 \cdot 10 = 770 \text{ руб}$	770
7	Уголок 20х20х3 мм – для стоек (рис. Д.6)	$(385 + 576) \cdot 2 \cdot 3 = 5766 \text{ мм} = 6 \text{ м}$ $1,39 \text{ кг/м} \cdot 6 = 8,34 \text{ кг}$ $75000 / 1000 \cdot 8,34 = 626 \text{ руб}$	626
8	Электрод Э-42 (рис. Д.7)	$7 \cdot 96 = 672 \text{ руб}$	672
9	Профлист– покрытие (рис. Д.8)	$220 \cdot 7,2 = 1584 \text{ руб}$	1584
10	Минеральная вата – утеплитель (рис. Д.9)	Необходимый объем $1200 \cdot 6000 \cdot 250 / 1000000000 = 1,8 \text{ м}^3$ $1,8 / 0,576 = 4 \text{ уп.}$ $4 \cdot 647 = 2588 \text{ руб}$	2588
		Итого, руб	12941
		Итого, руб / м ²	1797

Труба бесшовная 38х6 мм



Цена за метр: **1058 руб.** [?] *

Кол-во: Ед. изм.:

Сумма: **1269 руб.** Наличие: **ес**

Рисунок Д.1 - Труба бесшовная 38х6 мм для шарнирно-неподвижной опоры

<https://steel-ex.ru/truby/truba-besshovnaya-38/truba-besshovnaya-38kh6/>

Труба профильная 30x30x3 09Г2С ГОСТ 13663-86



Характеристики

Толщина	3
Размер	30x30
Марка	09Г2С
Технические условия /ГОСТ	ГОСТ 13663-86

От 40000 руб/т

Купить

Рисунок Д.2 - Труба квадратная 30x3 мм – для верхнего пояса:

https://grossteel.ru/catalog/chernyy_metalloprokat/truba_stalnaya/truba_profilnaya/truba_profilynaya_30h30h3_09g2s_gost_13663-86/



Профильная труба 20x20мм

Марка стали	09Г2С
ГОСТ	ГОСТ 8639-82
Страна-производитель	Россия

[Посмотреть все характеристики](#)

в наличии

77 руб./м

Оптовая цена

Минимальный

Регион постав

Доступно для

Заказать

Рисунок Д.3 - Труба квадратная 20x1 мм – для нижнего пояса:

https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/truba_profilnaya_20x20_mm_95870065

Сталь угловая гнутая 09Г2С 30x30x3 мм цены г. Красноярск

Печать В закладки

Сталь: 08пс, 09Г2С, ст3, Еще

Длина: 6, Еще

ГОСТ: Еще



Все	Все	09Г2С	↑↓	↑↓	Все
Наименование	Длина	Сталь	Цена 1	Цена 2	Розн. Поставщик металлопроката
уголок стальной гнутый 30x30x3	6	09Г2С		75 000	☆☆☆ УралМост +7 (950) 202-77-73

Рисунок Д.4 - Труба круглая 10x2 мм для шарнирно-подвижной опоры:

http://krasnoyarsk.metal100.ru/prodazha/Sortovoj-prokat/Ugolok/%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA_%D0%93%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%B9/30x30x3/09G2S_p2

Труба 10х1 сталь 09Г2С холоднодеформированная цена в г Красноярск

Тонны: Метры:

Сталь: 09Г2С, 30ХГСА, ст10, ст20, Еще

Длина: нд, Еще

ГОСТ: ГОСТ 8734-75, ГОСТ 21729-76, Еще



Все	Все	Все	↑↓	↑↓	Все
Наименование	Длина	Сталь	Цена 1	Цена 2	Розн. Поставщик металлопроката
трубы бесшовные хк 10х1		09Г2С		153	☆☆☆ МЕТАЛЛОС +7 (495) 118-36-88

Рисунок Д.5 - Уголок равнополочный 30х30х3 мм – для раскосов:
http://krasnoyarsk.metal100.ru/prodazha/Trubnyj-prokat/Truby-besshovnye-hk/10%D1%851/09G2S_p2

Сталь угловая гнутая 09Г2С 20х20х3 мм цены г. Красноярск

Сталь: 08пс, 09Г2С, ст3, Еще

Длина: 6, Еще

ГОСТ: Еще



Все	Все	09Г2С	↑↓	↑↓	Все
Наименование	Длина	Сталь	Цена 1	Цена 2	Розн. Поставщик металлопроката
уголок стальной гнутый 20х20х3	6	09Г2С		75 000	☆☆☆ УралМост +7 (950) 202-77-73

Рисунок Д.6 - Уголок 20х20х3 мм – для стоек:
http://krasnoyarsk.metal100.ru/prodazha/Sortovoj-prokat/Ugolok/%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA_%D0%93%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%B9/20x20x3/09G2S_p2

**Электроды АНО- 6 ф 4,0 мм (тип Э42, пост. + перемен. ток, рутил)
(пачка 5 кг, ЛЭЗ)**

Применение

Электроды для наплавки

Цена за кг

96 руб

Рисунок Д.7 – Электрод Э-42: <https://krasnoyarsk.v-p-k.ru/elektrody-e42/>

Профлист С8 0,35 мм Ст (RAL8017 шоколадно-коричневый) Профнастил

Марка

Страна-производитель

Бренд

[Посмотреть все характеристики](#)

220 руб./кв.м
~~245~~ руб./кв.м

Скидка до

[Заказать](#) [В корзину](#)

Рисунок Д.8 – Профлист для покрытия:

https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/profilirovanny_list_s8_stal_st_ral_ral_8017_shokoladno_korichnevyy_11943236

ТехноНИКОЛЬ РОКЛАЙТ 1200x600x50 мм (8шт.)

Бренд

Толщина

647 руб.

[Заказать](#) [В корзину](#)

Рисунок Д.9 – Минеральная вата – утеплитель:

https://krasnoyarsk.pulscen.ru/products/tekhnonikol_roklayt_1200kh600kh50_mm_8_sht_129659506

Приложение Е. Анализ частоты дробления поясов на пластинчатые конечные элементы

Известно, что при более частом разбиении пластин результаты расчета более точные и приближенные к реальной работе конструкций. Проведем анализ результатов расчета схемы при различной частоте разбиения элементов поясов на пластинчатые конечные элементы. Зададим две расчетные схемы с разбиением поясов так, чтобы между стойками оказывалось 4 и 5 конечных элемента в каждом элементе пояса.

Сечения элементов представлены на рис. Е.1 (сечения подобраны в соответствии с п. 2). Расчет выполнен, как и в п. 2.1, на две комбинации нагрузок: С1 - с воздействием собственного веса, веса от утеплителя и покрытия, начальных напряжений и равноугонной снеговой нагрузки; С2 – то же, с воздействием односторонней снеговой нагрузки. Сбор и задание нагрузок идентичны п. 2.1.

Расчетная схема линзообразной плиты покрытия с разбиением элемента пояса на 20 элементов (4 элемента на сектор) представлена на рис. Е.2, результаты расчета – на рис. Е.3-Е.8.

Расчетная схема линзообразной плиты покрытия с разбиением элемента пояса на 26 элементов (5 элементов на сектор, 6 элементов в среднем секторе) представлена на рис. Е.9, результаты расчета – на рис. Е.10-Е.15.

	35 * 50	раскосы
	40x3	труба
	h=0.021	стойки
	h=0.04	пояса 4

Рисунок Е.1 – Сечения элементов расчетных схем

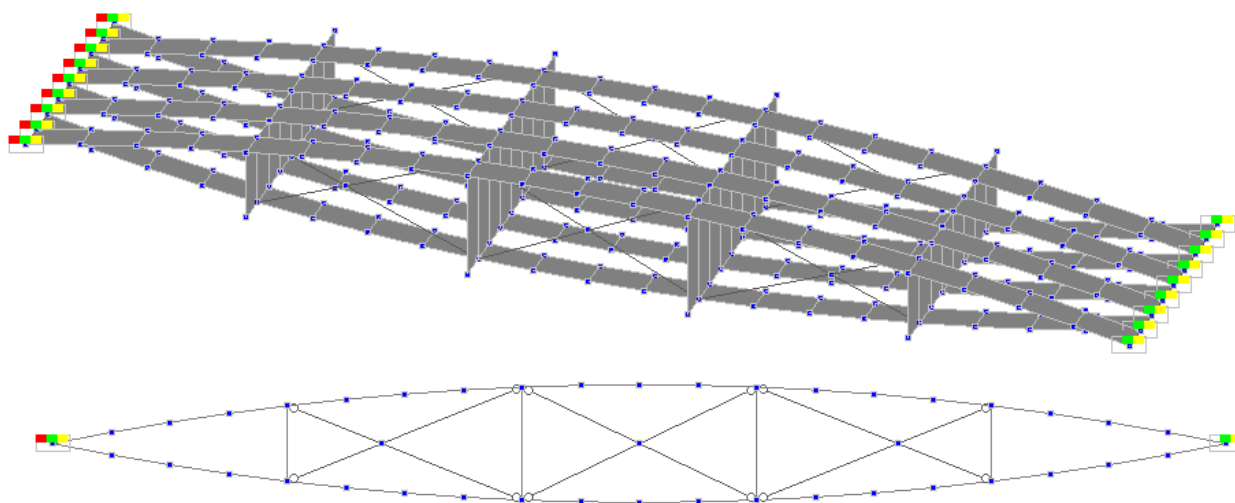


Рисунок Е.2 – Расчетная схема (4 элемента на сектор) (3D-вид и вид сбоку)

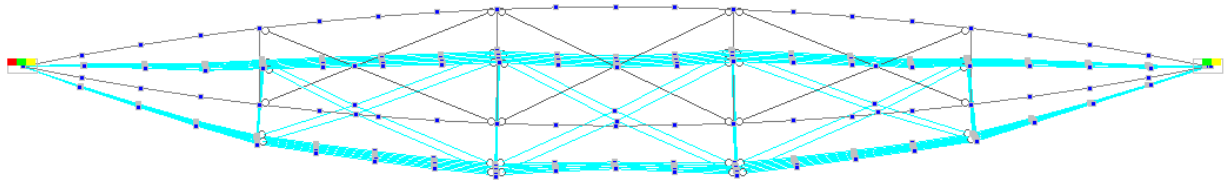


Рисунок Е.3 – Деформированная схема (4 элемента на сектор) от С1

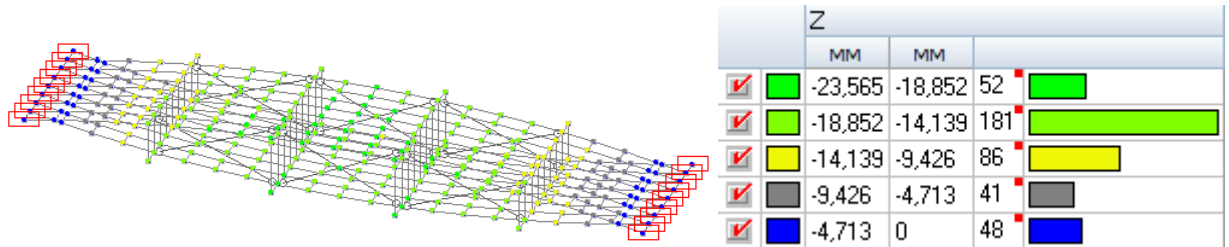


Рисунок Е.4 – Прогибы модели (4 элемента на сектор) от С1, мм

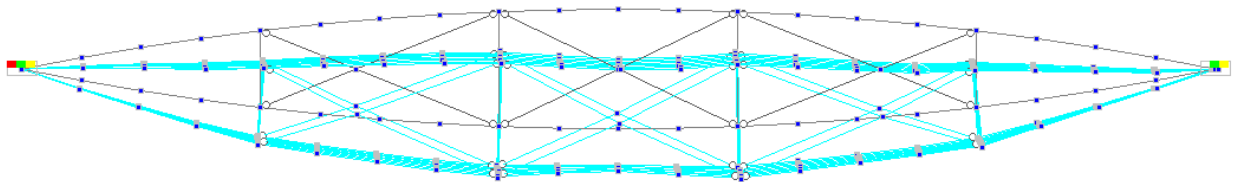


Рисунок Е.5 – Деформированная схема (4 элемента на сектор) от С2

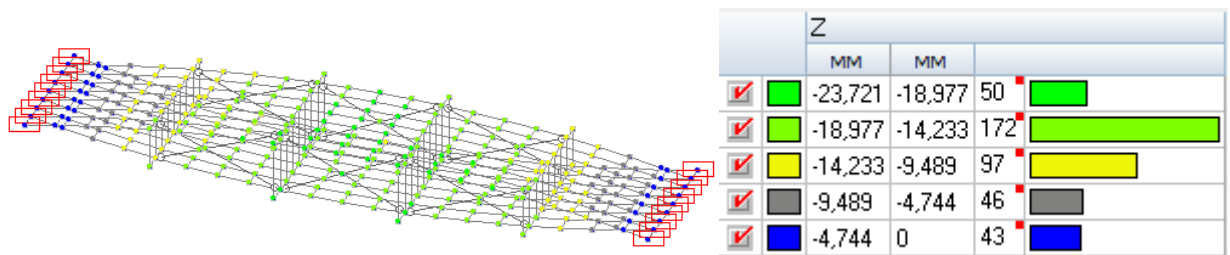
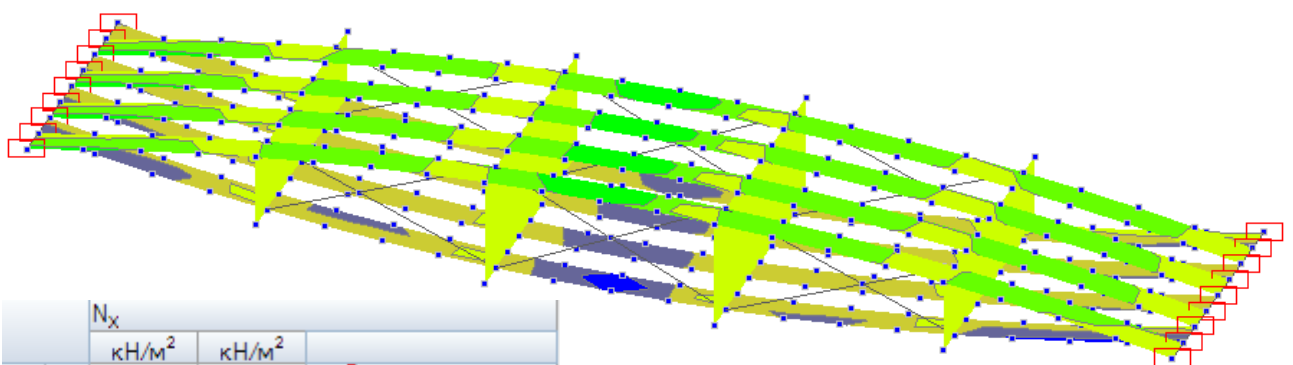


Рисунок Е.6 – Прогибы модели (4 элемента на сектор) от С2, мм



		N _x			
		кН/м ²	кН/м ²		
✓	■	-4079,939	-2527,675	24	■
✓	■	-2527,675	-975,412	78	■
✓	■	-975,412	576,851	118	■
✓	■	576,851	2129,115	77	■
✓	■	2129,115	3681,378	39	■
✓	■	3681,378	5233,641	6	■

Рисунок Е.7 – Напряжения в модели (4 элемента на сектор) σ_x , кН/м², от С1

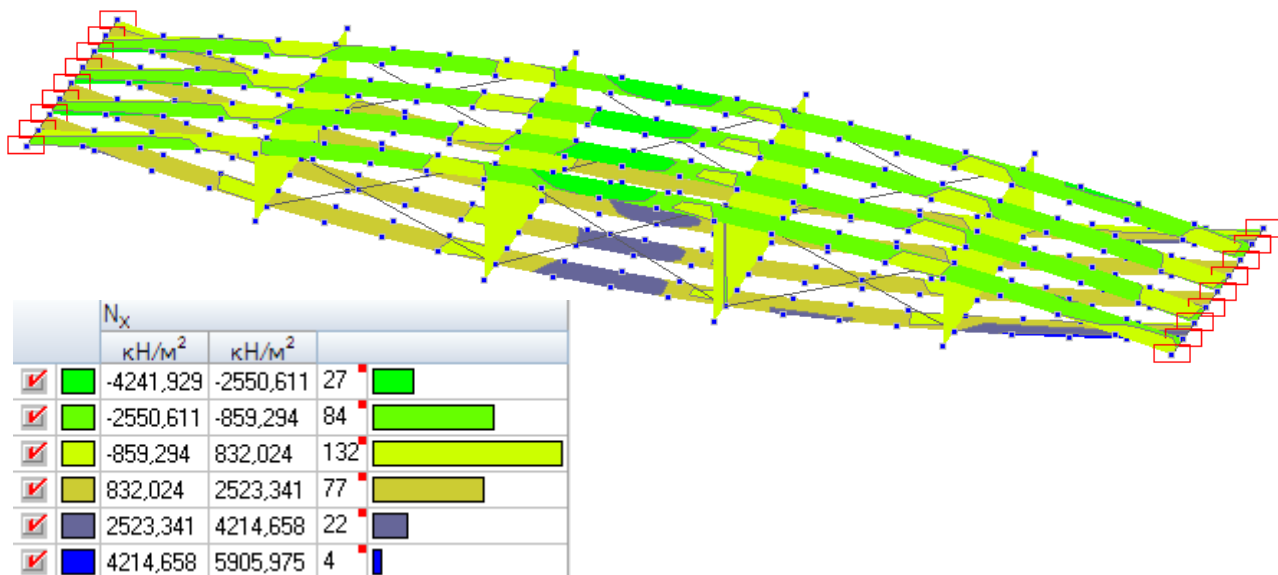


Рисунок Е.8 – Напряжения в модели (4 элемента на сектор) σ_x , кН/м², от С2

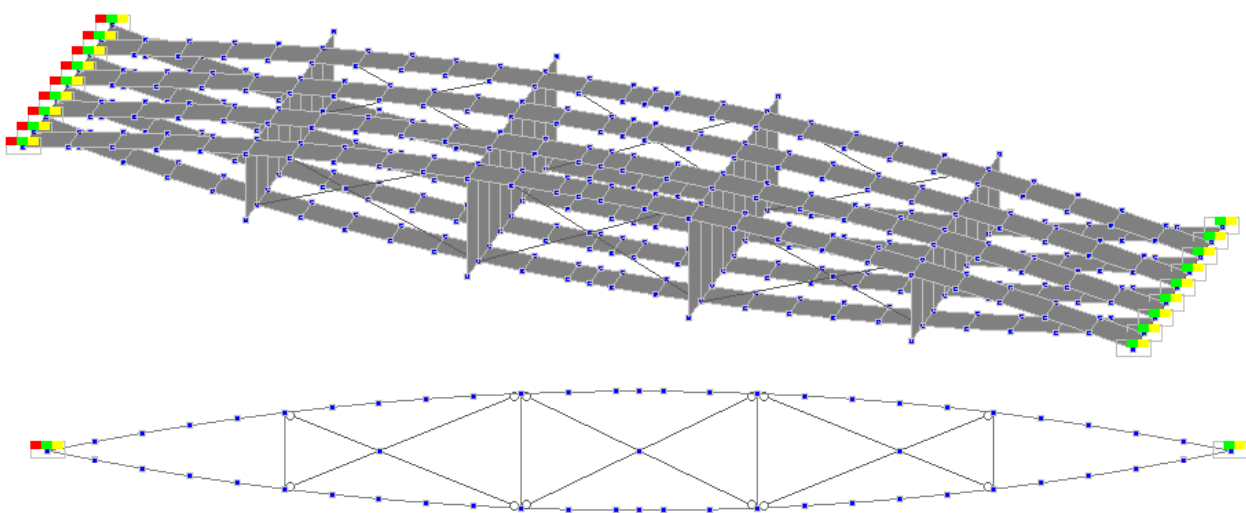


Рисунок Е.9 – Расчетная схема (5 элементов на сектор) (3D-вид и вид сбоку)

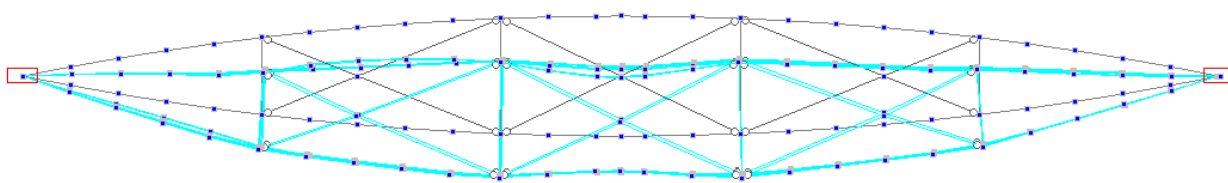


Рисунок Е.10 – Деформированная схема (5 элементов на сектор) от С1

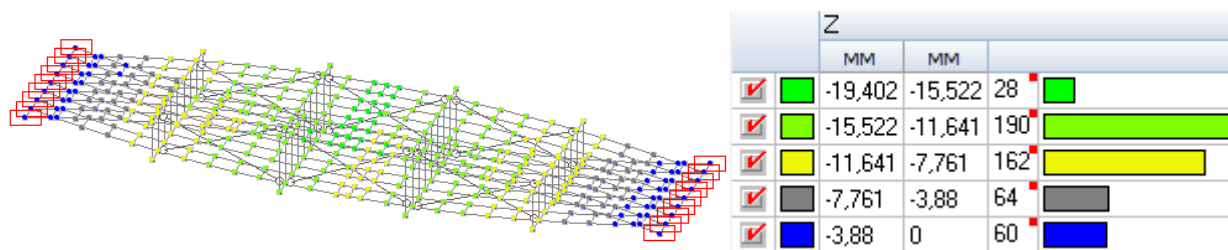


Рисунок Е.11 – Прогибы модели (5 элементов на сектор) от С1, мм

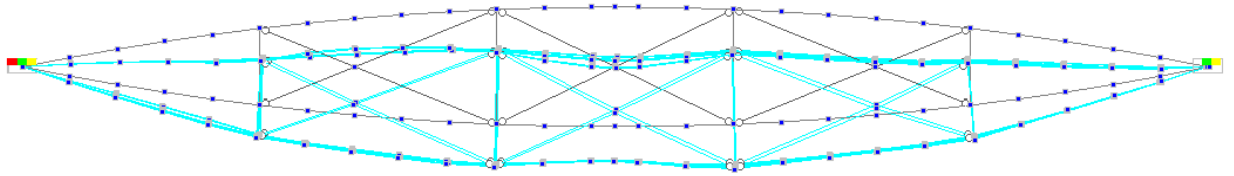


Рисунок Е.12 – Деформированная схема (5 элементов на сектор) от С2

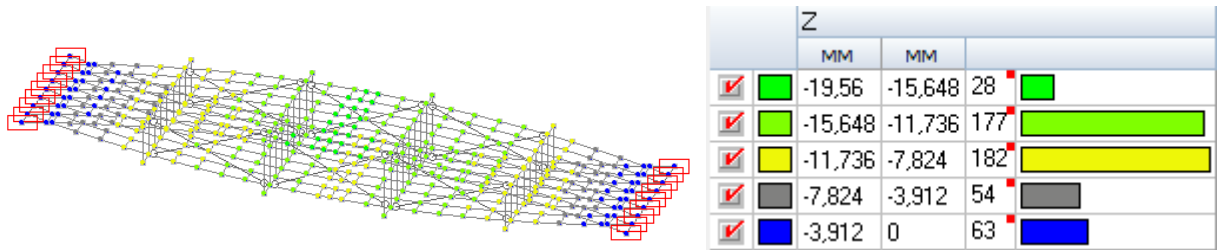


Рисунок Е.13 – Прогибы модели (5 элементов на сектор) от С2, мм

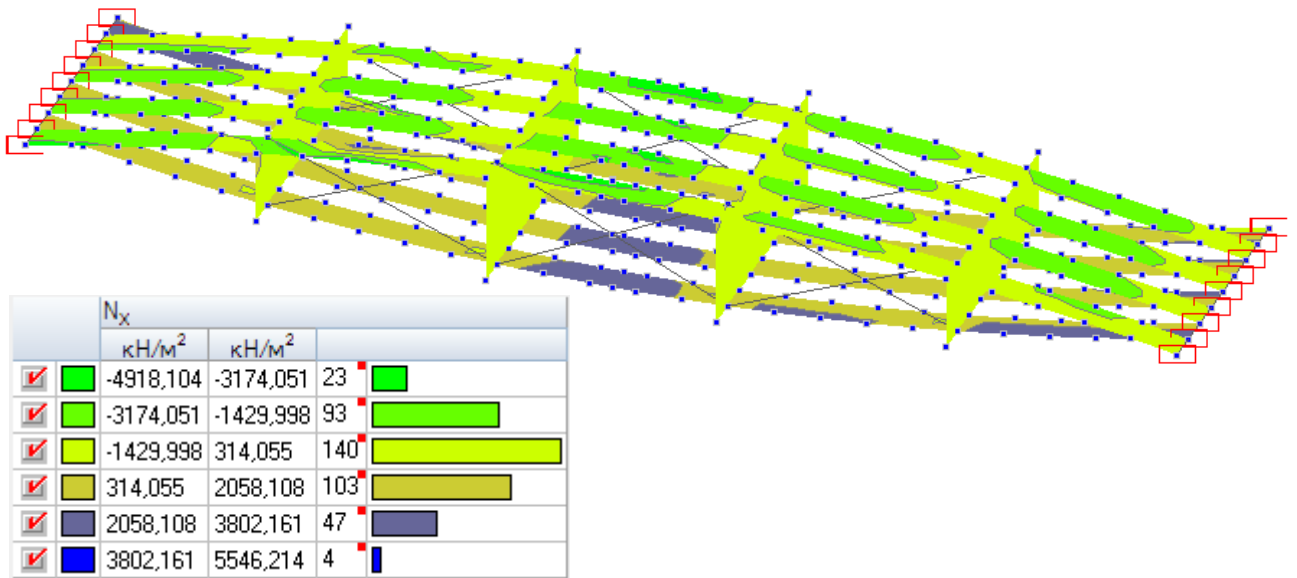


Рисунок Е.14 – Напряжения в модели (5 элементов на сектор) σ_x , кН/м², от С1

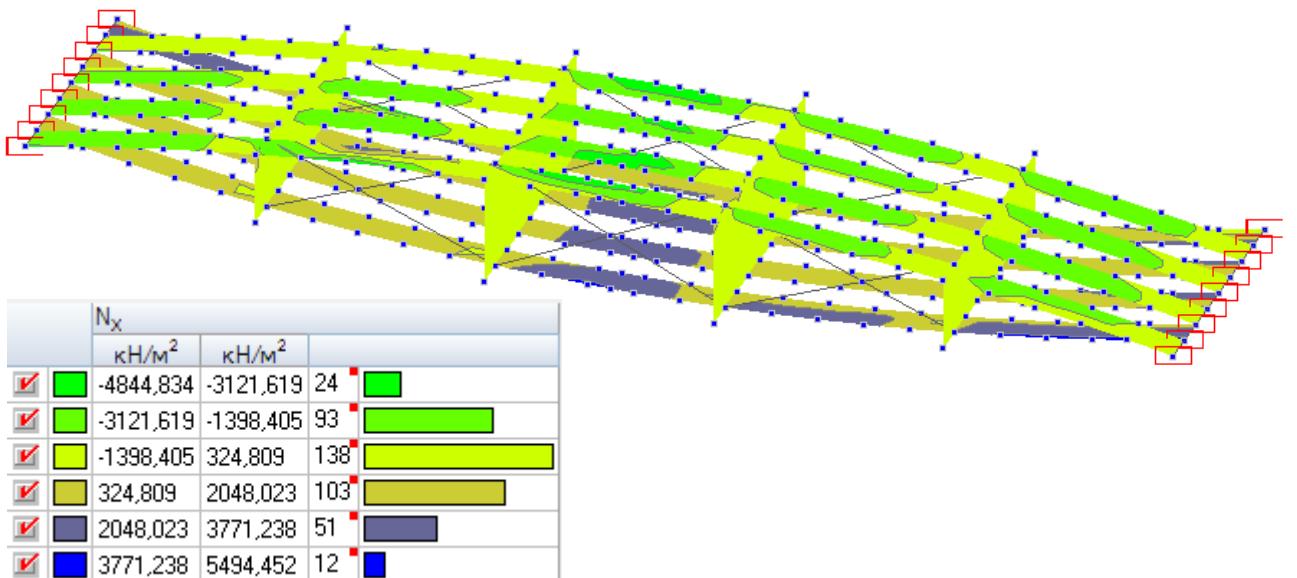


Рисунок Е.15 – Напряжения в модели (5 элементов на сектор) σ_x , кН/м², от С2

Сравнительная таблица результатов расчета различных моделей линзообразной плиты покрытия с разбиением элементов поясов на 6, 20 и 26 элементов (1 элемент, 4 элемента и 5 элементов на сектор соответственно) представлена ниже.

Таблица Е.1 – Сравнение трех моделей с различным разбиением элементов поясов на пластинчатые конечные элементы

Наименование параметра	ЛПП (1 сегмент на сектор)	ЛПП (4 элемента на сектор)	ЛПП (5 элементов на сектор)
1	2	3	4
Максимальные перемещения по Z, мм, от комбинации нагрузок С1	-27,43	-23,56	-19,40
Максимальные перемещения по Z, мм, от комбинации нагрузок С2	-27,96	-23,72	-19,56
Максимальные сжимающие усилия в верхнем поясе, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С1, кН/м ²	-2419	-4080	-4918
Максимальные сжимающие усилия в верхнем поясе, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С2, кН/м ²	-2850	-4242	-4844
Максимальные растягивающие усилия в нижнем поясе, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С1, кН/м ²	2563	5234	5546
Максимальные растягивающие усилия в нижнем поясе, распределенные на площадь сечения элемента пояса, от комбинации нагрузок С2, кН/м ²	2328	5906	5494

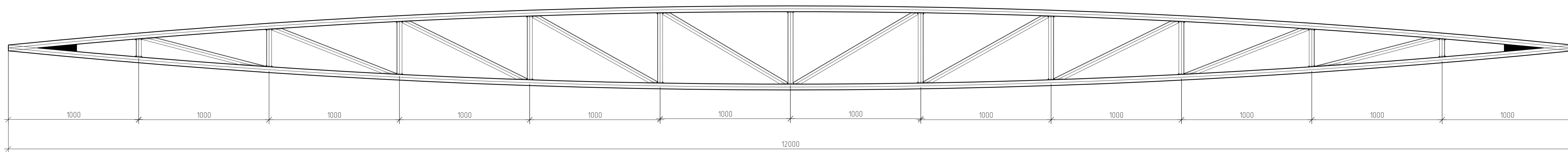
Анализируя таблицу Е.1 и результаты испытаний (п. 3), можно сделать вывод, что от частоты разбиения элементов поясов на пластинчатые конечные элементы зависит точность вычисления прогибов. Прогибы, полученные в результате испытаний уменьшенной модели плиты, меньше вычисленных при низкой частоте разбиения; при более частом разбиении элементов поясов уменьшенной модели сходимость прогибов была бы выше (по аналогии с результатами расчета полноразмерной модели плиты при различном разбиении элементов поясов). Максимальные напряжения в элементах поясов также сильно зависят от частоты разбиения, так как ПК SCAD вычисляет напряжения только в трех точках пластинчатого элемента – в его начале, в середине и в конце; соответственно, более частое разбиение предполагает более подробное построение полей напряжений. Напряжения, зафиксированные в уменьшенной модели плиты в результате испытаний, больше напряжений, вычисленных при низкой частоте разбиения; при более частом разбиении элементов поясов уменьшенной модели сходимость напряжений также была бы выше (по

аналогии с результатами расчета полноразмерной модели плиты при различном разбиении элементов поясов).

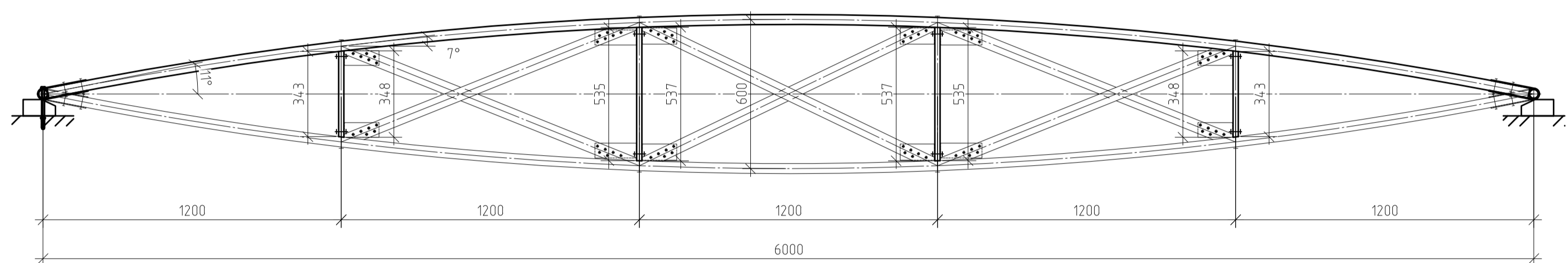
Приложение Ж

Графическая часть

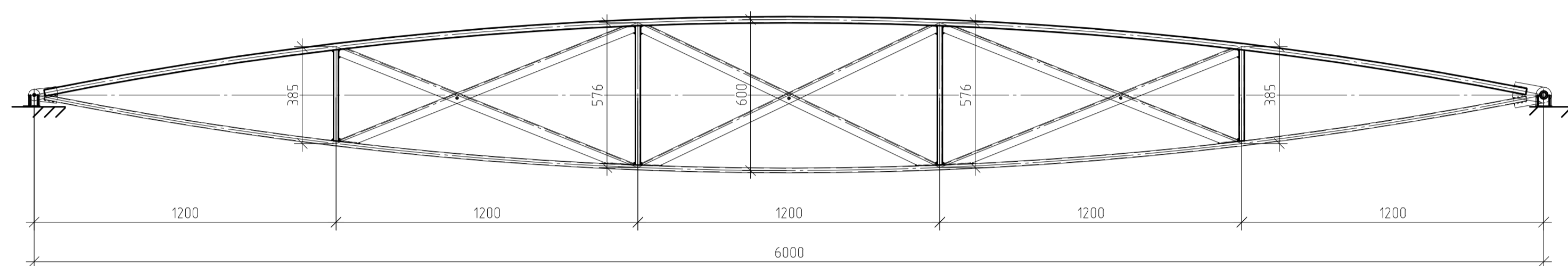
Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов



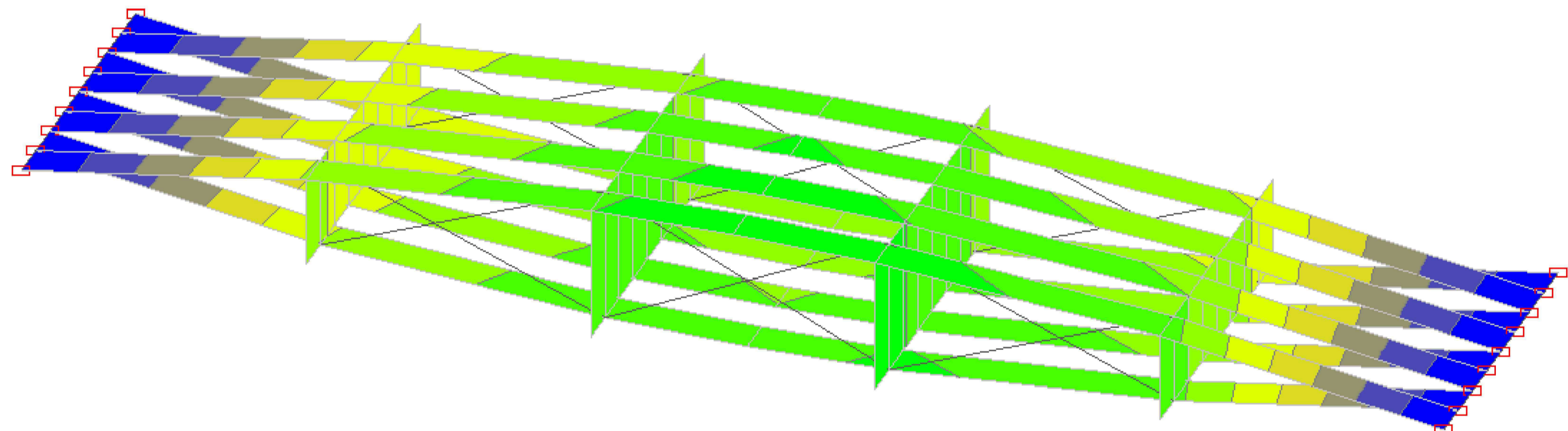
Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов



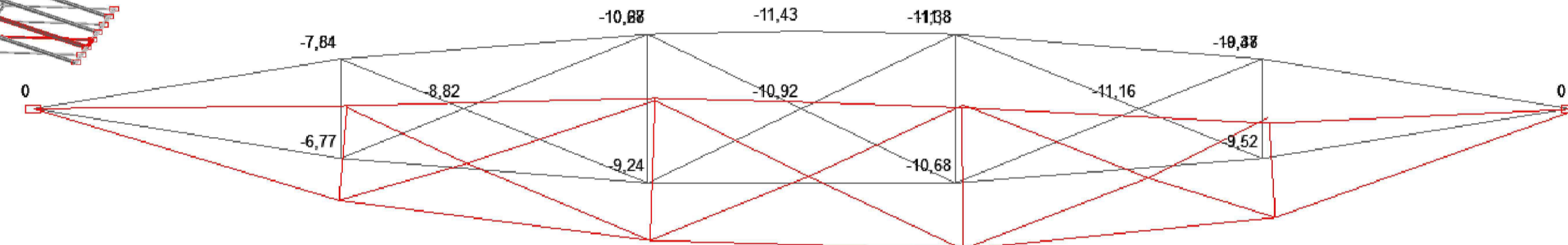
Линзообразная плита покрытия из металлических элементов сечением из квадратных труб



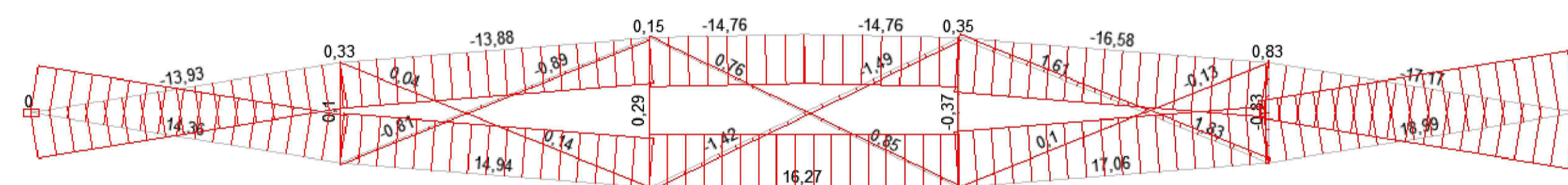
Изополю перемещений по Z, мм, от комбинации нагрузок С2 (односторонняя снеговая нагрузка)



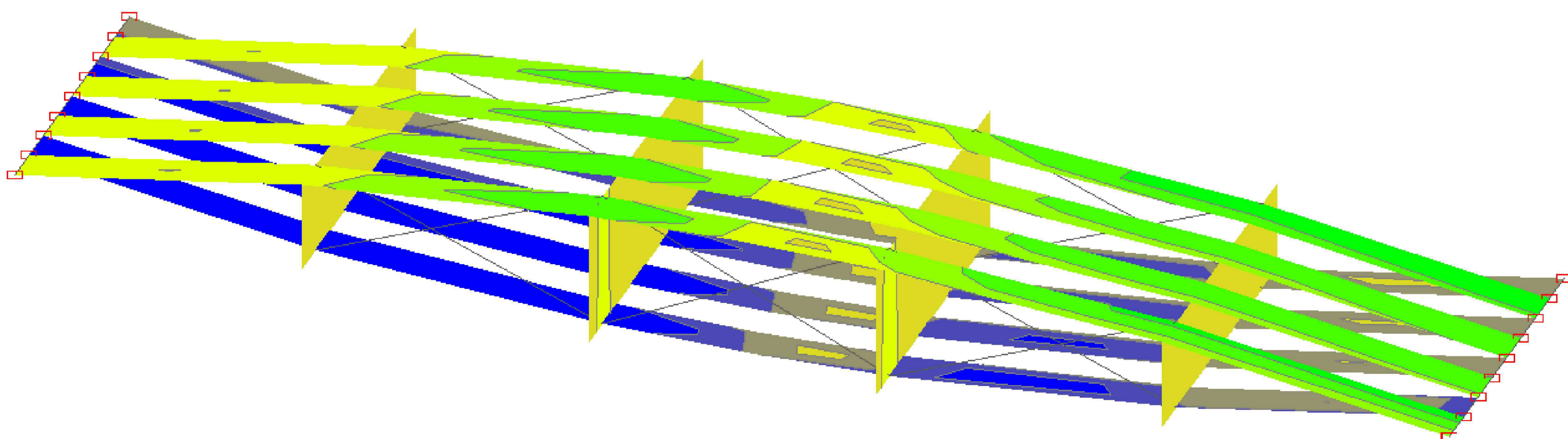
Деформированная схема и максимальные перемещения фрагмента по Z, мм



Эпюра усилий фрагмента N, кН



Изополю напряжений σ_x (N_x) в пластинах, кН/м², от комбинации нагрузок С2 (односторонняя снеговая нагрузка)



Сравнение вариантов

№ п/п	Наименование показателя	Вариант 1 Линзообразный блок из профлиста	Вариант 2 Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов	Вариант 3 Линзообразная плита покрытия из металлических элементов сечением из квадратной трубы
1	Площадь покрытия, м ²	36	7,92	7,2
2	Стоимость материалов, руб/м ²	2928	1893	2018
3	Материалоемкость, кг/м ²	43,32	44,728	36,35
4	в т.ч. металлоемкость, кг/м ²	23,68	4,145	35,86
5	Максимальные вертикальные перемещения, мм			
	при комбинации С1	-	-27,693	-11,69
	при комбинации С2	-	-28,23	-11,8
6	Максимальные усилия N, кН, сжимающие / растягивающие			
	при комбинации С1	-	-16 / 16,94	-16,05 / 17,14
	при комбинации С2	-	-18,81 / 15,283	-17,17 / 18,99

	Z		
	MM	MM	
✓	-28,23	-24,702	13
✓	-24,702	-21,173	43
✓	-21,173	-17,644	43
✓	-17,644	-14,115	34
✓	-14,115	-10,586	16
✓	-10,586	-7,058	16
✓	-7,058	-3,529	16
✓	-3,529	0	16

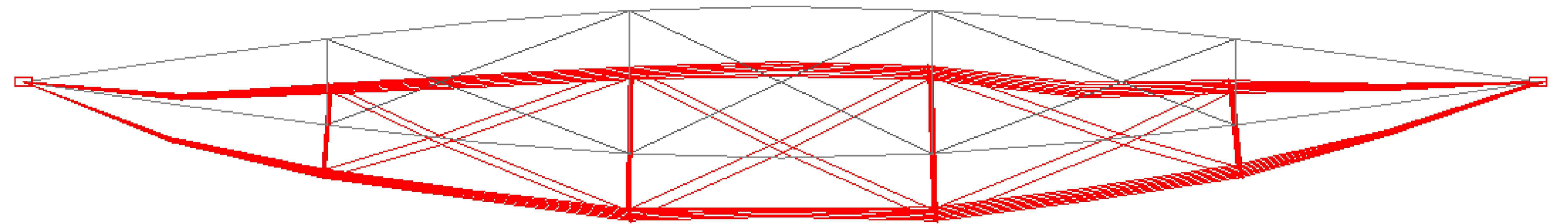
	N _x		
	кН/м ²	кН/м ²	
✓	-2850,141	-2204,446	4
✓	-2204,446	-1558,752	16
✓	-1558,752	-913,058	19
✓	-913,058	-267,364	24
✓	-267,364	378,33	48
✓	378,33	1024,025	18
✓	1024,025	1669,719	17
✓	1669,719	2315,413	12

Примечания:
Данный лист читать совместно с Листом 2, 3 и 4.

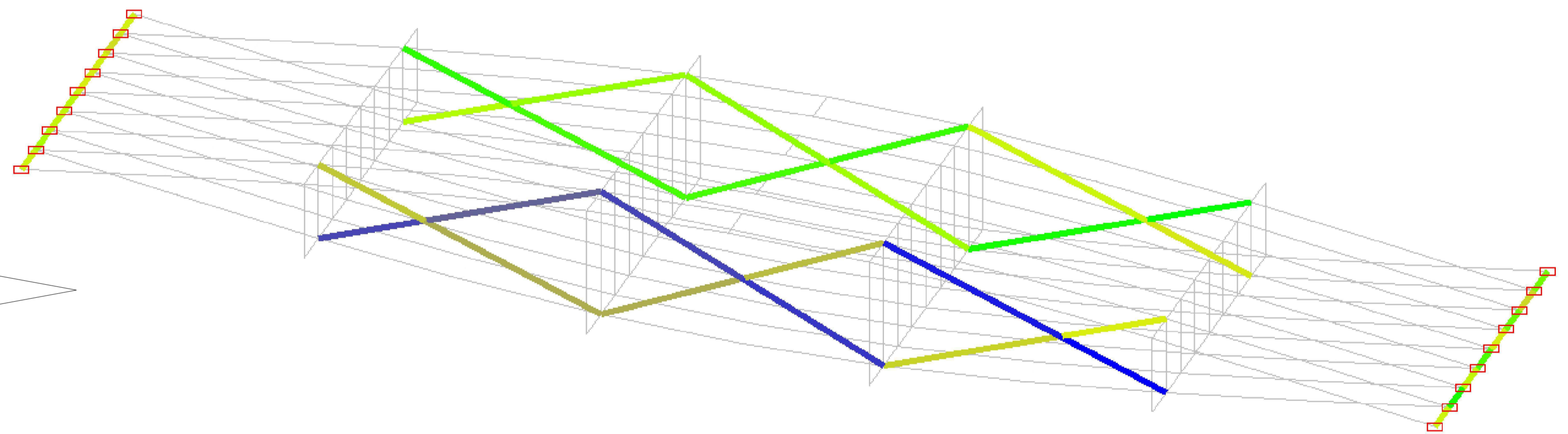
					ДР-08.05.01				
					ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов	Стандия	Лист	Листов
Выполнил	Третяк О.О.						1	13	
Консультант	Григорьев С.В.					Вариантное проектирование	СКУС		
Руководитель	Григорьев С.В.								
Н.контр.оль	Григорьев С.В.								
Зав. кафедрой	Леонидов С.В.								



Деформированная схема, вид сбоку



Цветовое отображение значений усилий N, H, в раскосах и поперечных стержнях



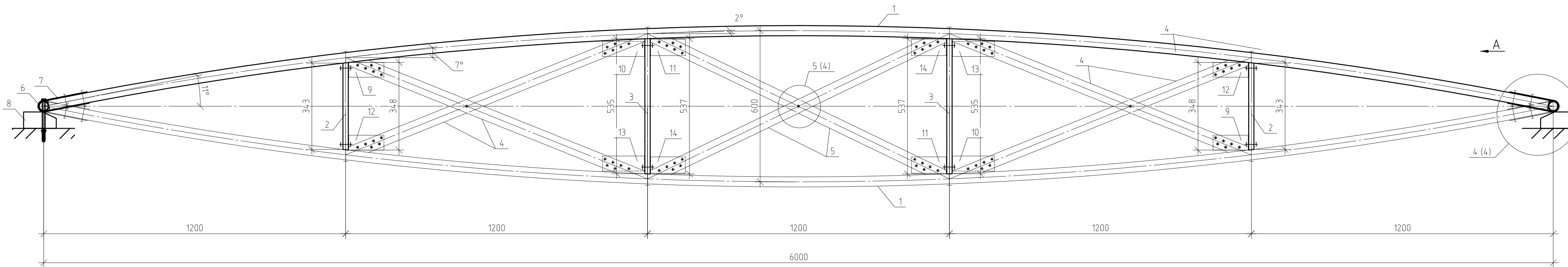
	N			
	H	H		
✓	-2388,033	-1723,325	4	
✓	-1723,325	-1058,618	5	
✓	-1058,618	-393,91	6	
✓	-393,91	270,798	11	
✓	270,798	935,505	6	
✓	935,505	1600,213	2	
✓	1600,213	2264,921	4	
✓	2264,921	2929,628	2	

Примечания:
Данный лист читать совместно с листом 1, 3, 4 и 5.

						ДР-08.05.01			
						ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов	Страница	Лист	Листов
Выполнил	Третяк О.О.					Блок-схема проектирования линзообразной плиты покрытия, Деформированная схема, вид сбоку, Усилия N в раскосах и поперечных стержнях		2	
Консультант	Григорьев С.В.								СКУС
Руководитель	Григорьев С.В.								
Н.контр.	Григорьев С.В.								
Зав. кафедрой	Дерюбин С.В.								

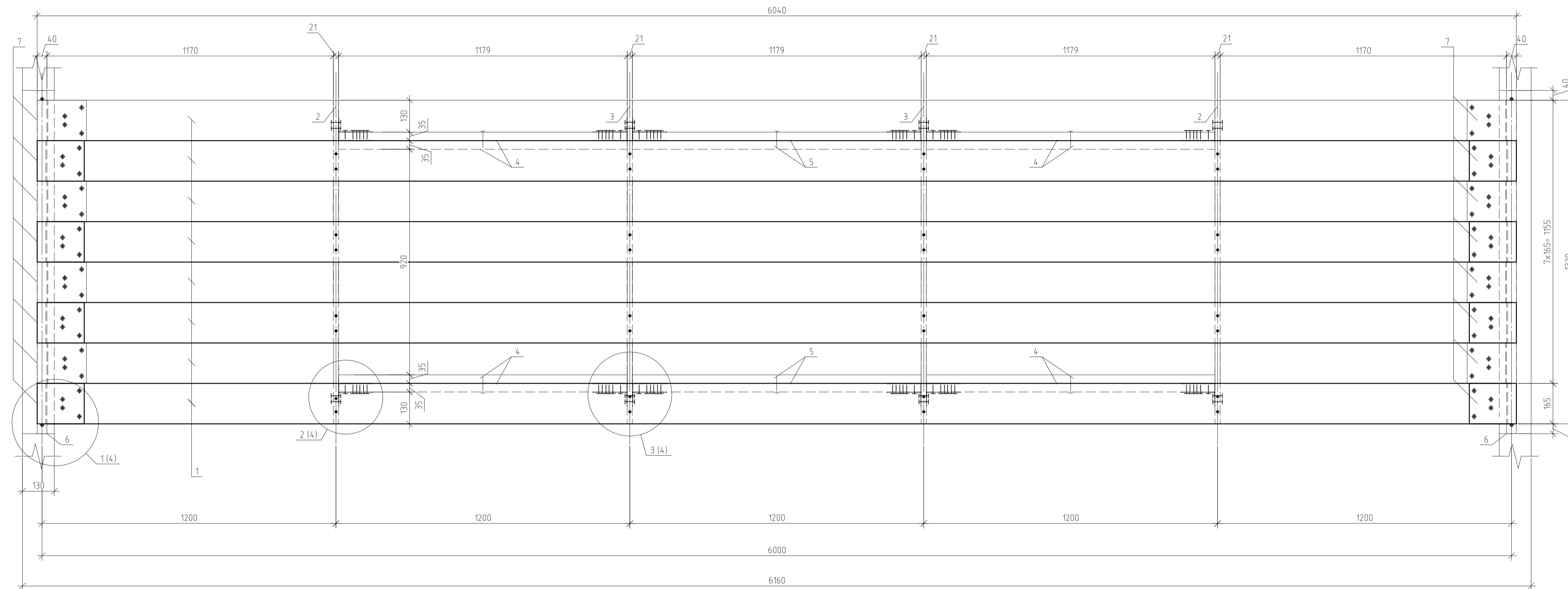
Линзообразная плита покрытия из деревянных полосовых элементов

Спецификация элементов



Вид сверху

Мар-ка	Поз	Кол., шт		Сечение	Длина, мм	Масса, кг		Материал	Примечание
		м	н			шт	общ		
ЛПП	1	8		40x165	6018	19.859	158.872	Сосна (2 сорт)	Элементы поясов
	2	1	1	21x385	1320	5.870	11.74	Сосна (фанера)	Стойки-распорки короткие
	3	1	1	21x576	1320	8.782	17.564	Сосна (фанера)	Стойки-распорки длинные
	4	4	4	35x50	1260	1.103	8.82	Сосна (2 сорт)	Раскосы 2, 4 сектор
	5	4		35x50	1300	0.910	3.64	Сосна (2 сорт)	Раскосы 3 сектор
	6	1	1	40x2,5	1400	3.237	6.474	C245	Труба (A=294,52 мм²)
	7	8	8	3x165	423	1.096	17.533	C235	Гнутая пластина (наконечник)
	8	1	1	65x130	1400	5.915	11.83	Сосна (2 сорт)	Опорный брус
	9	2	2	2x60	195	0.184	0.735	C235	Гнутая пластина (уголок)
	10	2	2	2x60	125	0.118	0.471	C235	Гнутая пластина (уголок)
	11	2	2	2x65	195	0.199	0.796	C235	Гнутая пластина (уголок)
	12	2	2	2x60	195	0.184	0.735	C235	Гнутая пластина (уголок)
	13	2	2	2x60	125	0.118	0.471	C235	Гнутая пластина (уголок)
	14	2	2	2x65	195	0.199	0.796	C235	Гнутая пластина (уголок)
Итого							240.477		

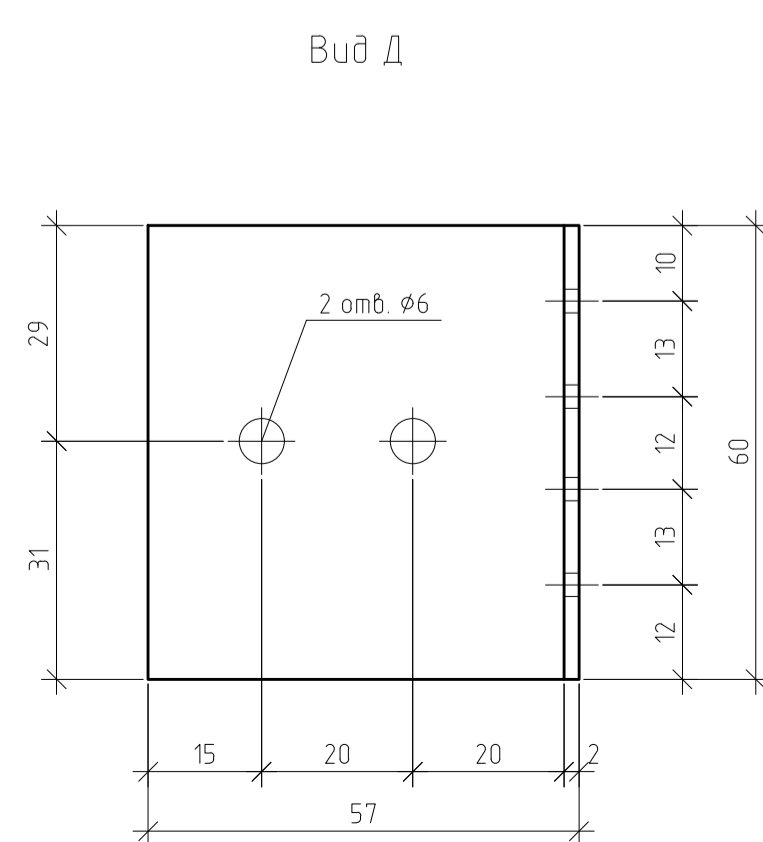
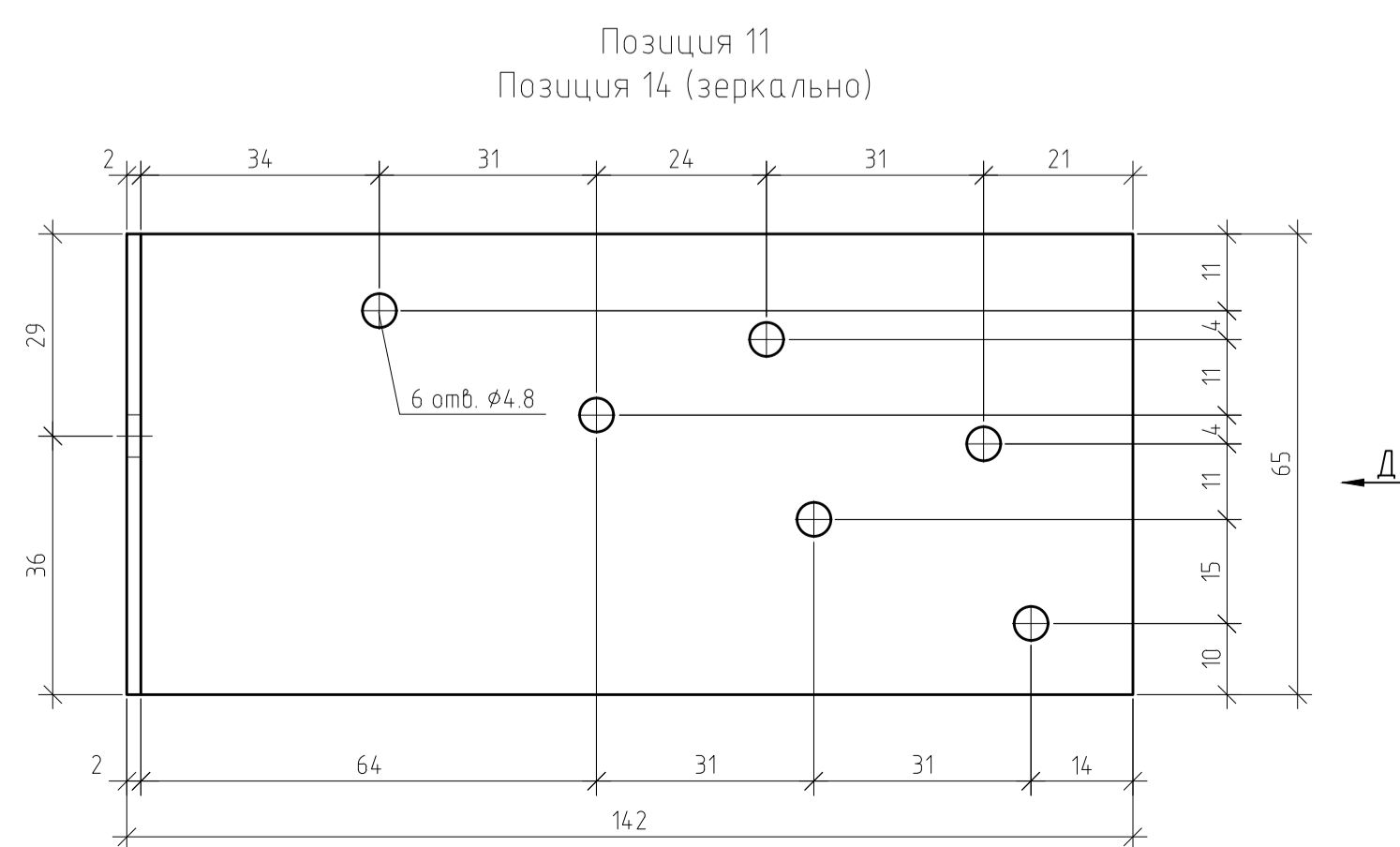
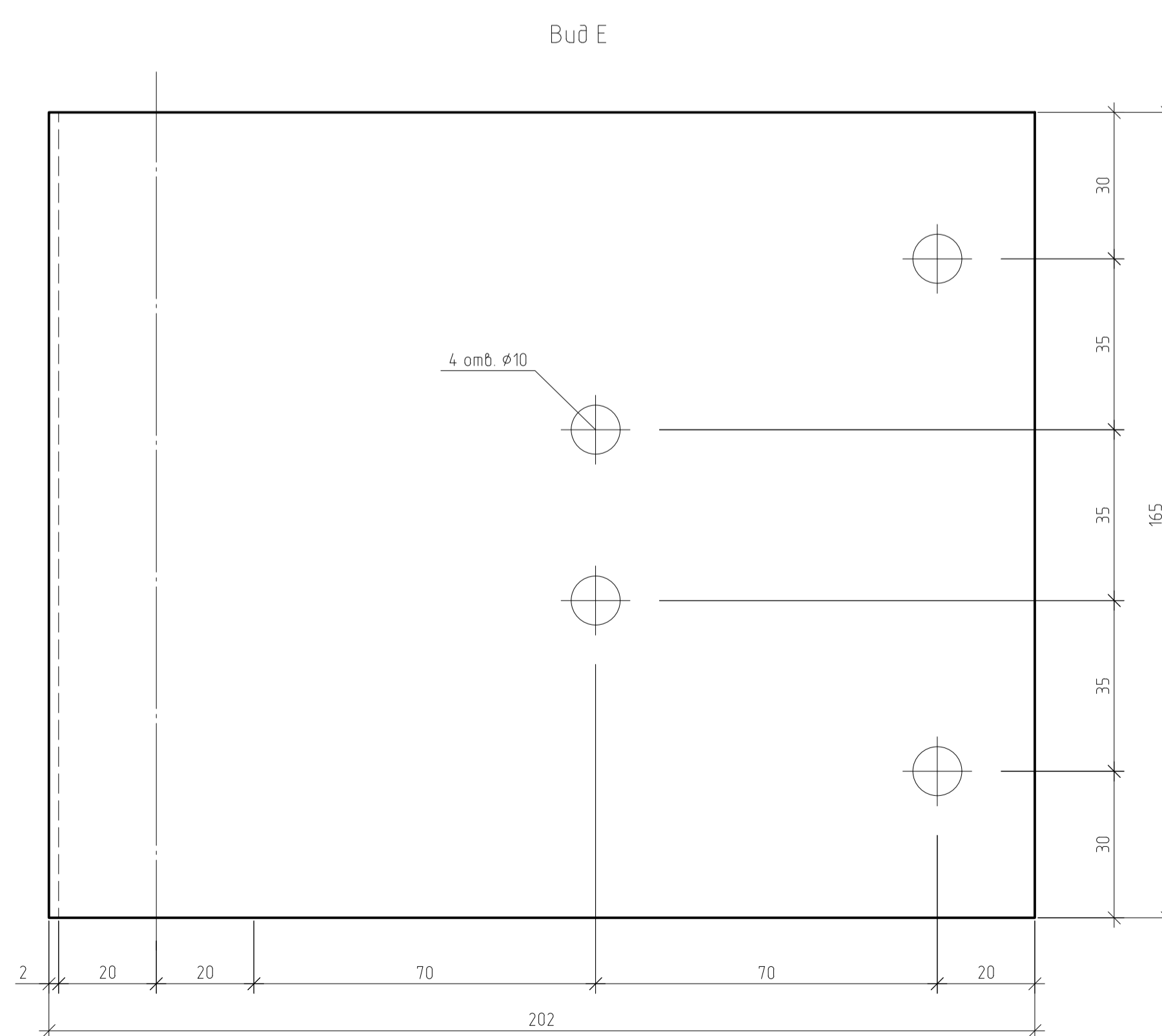
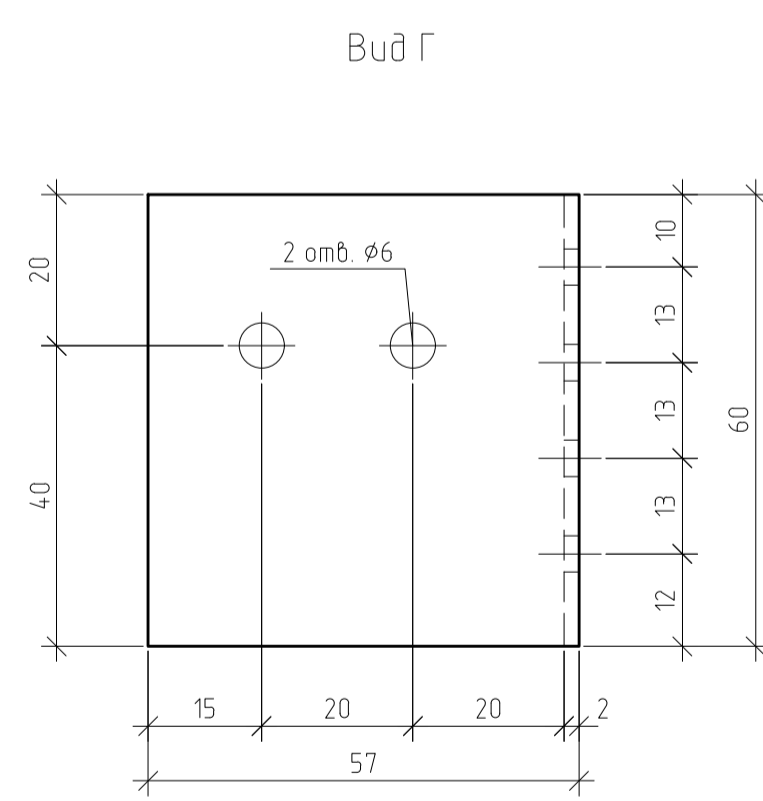
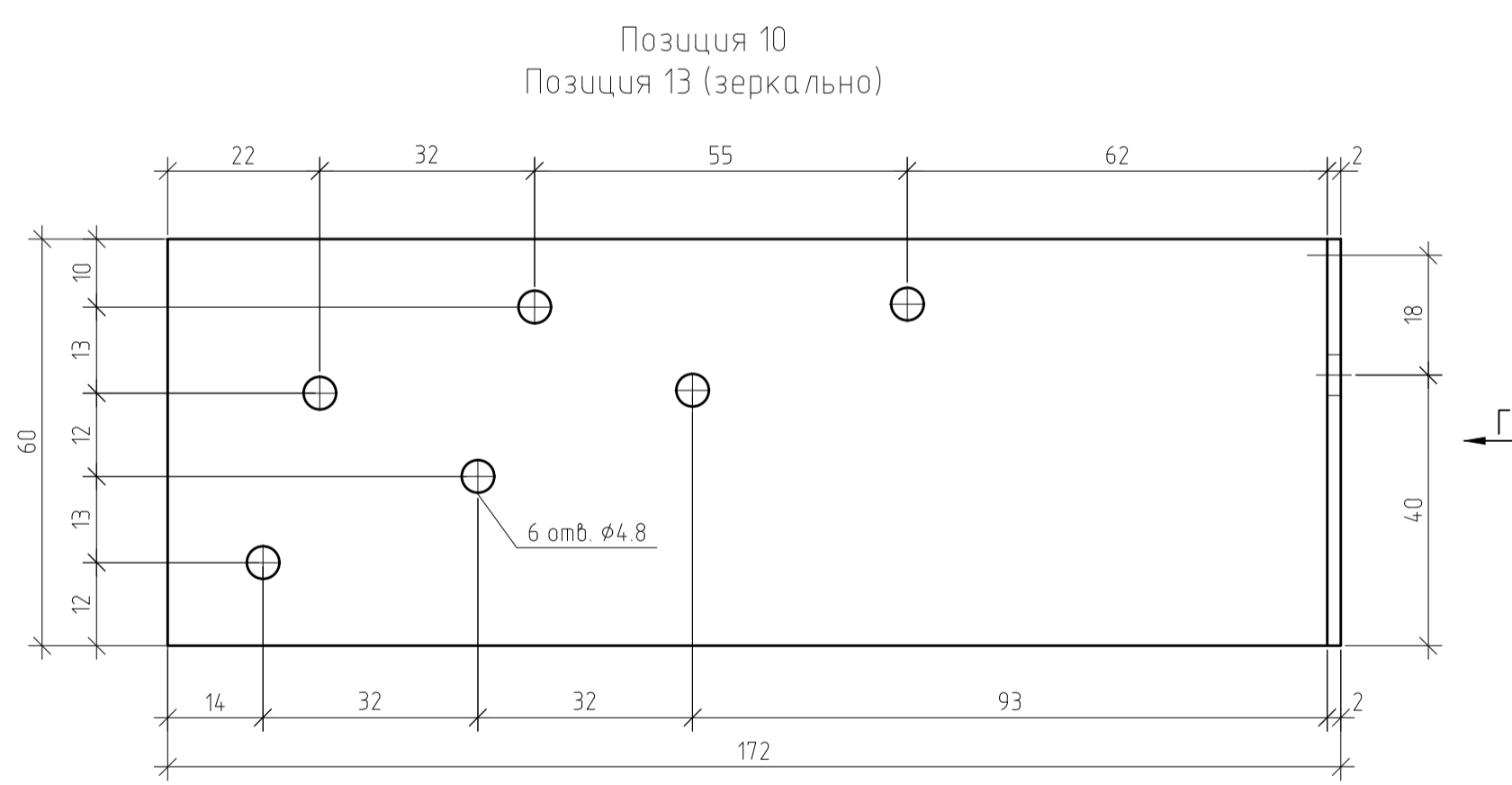
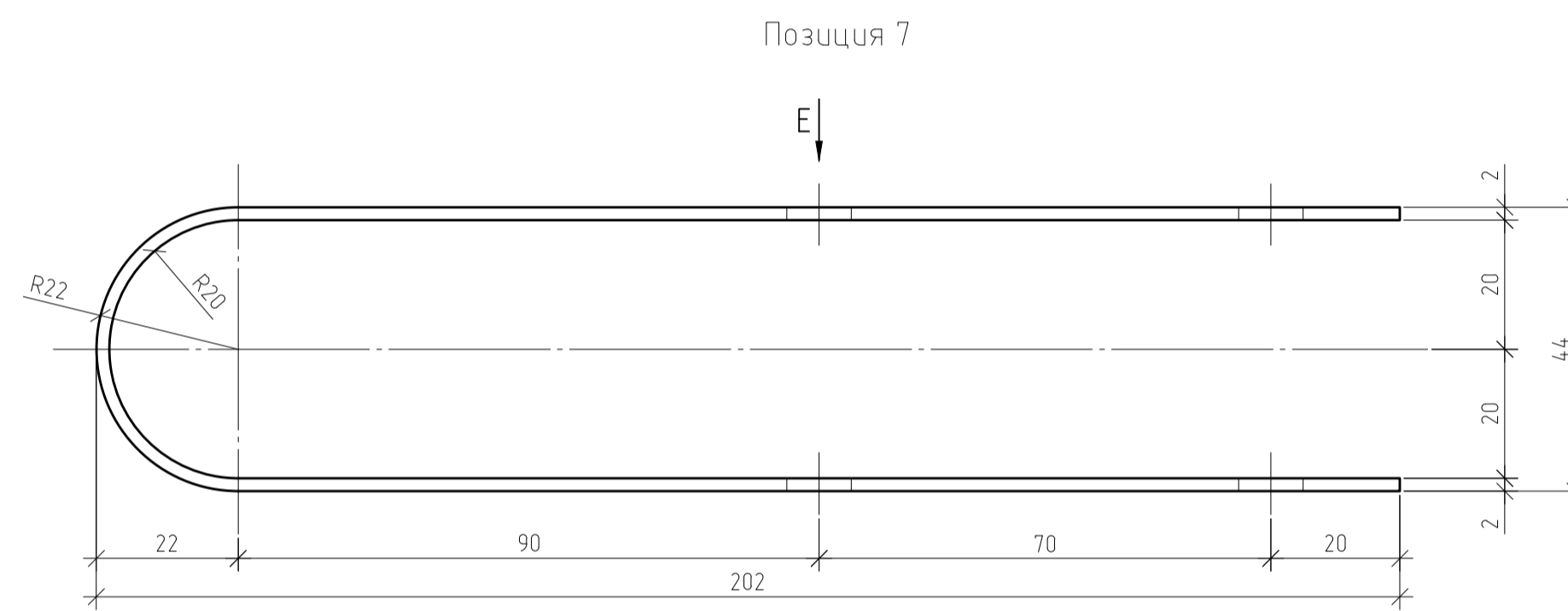
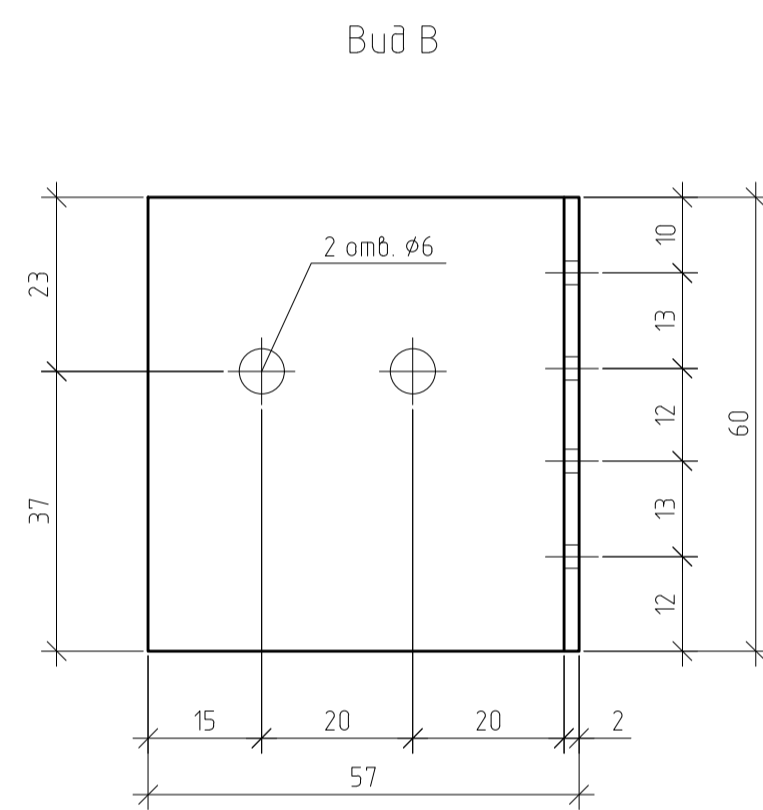
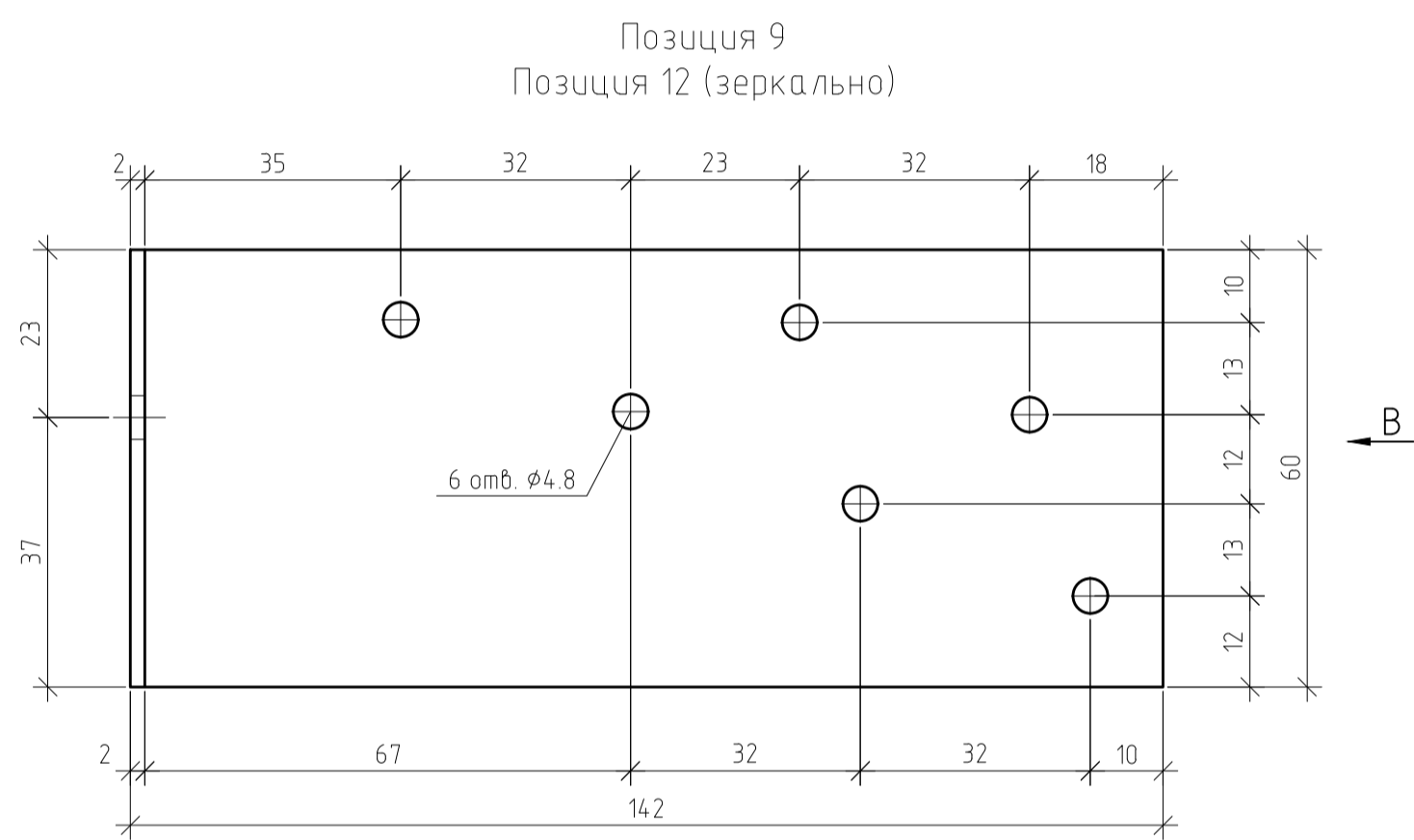
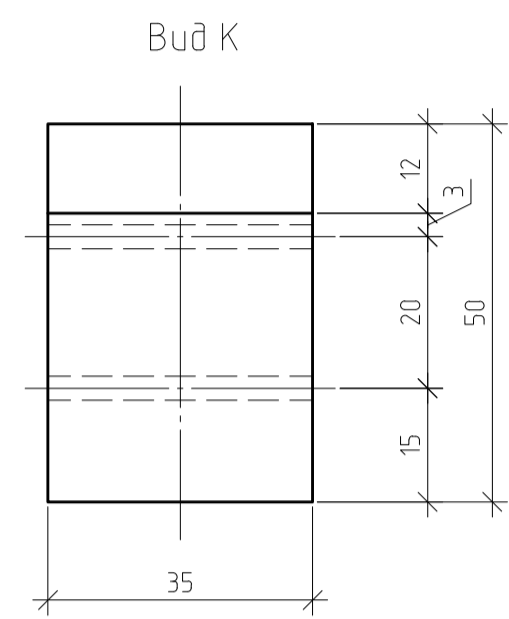
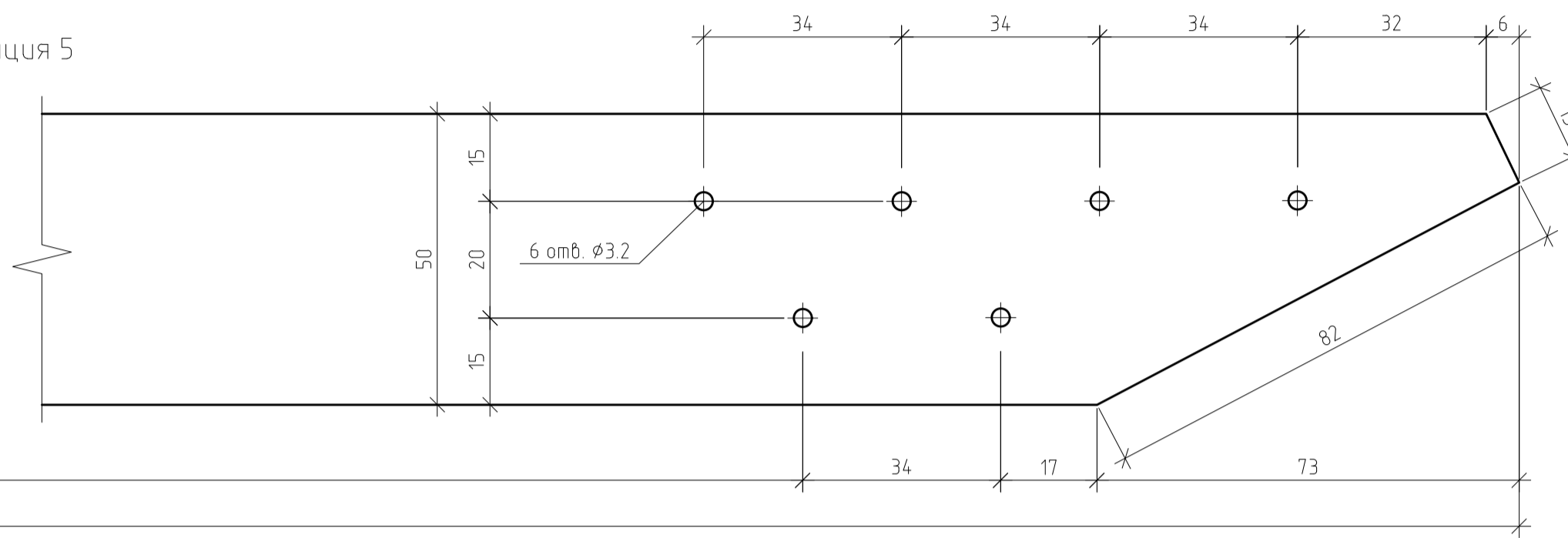
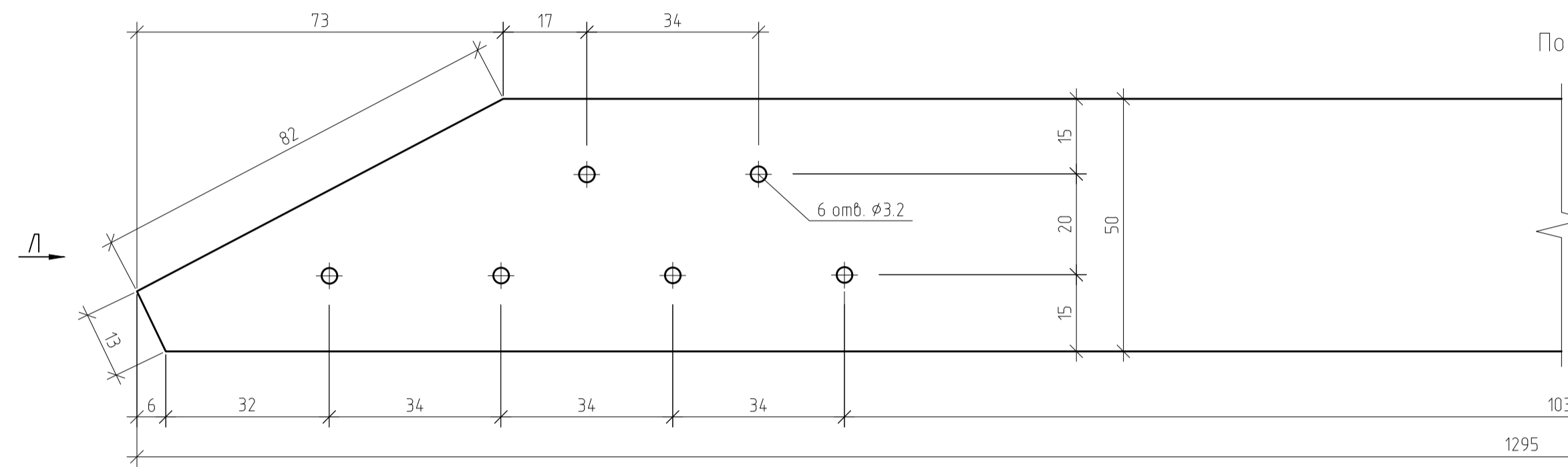
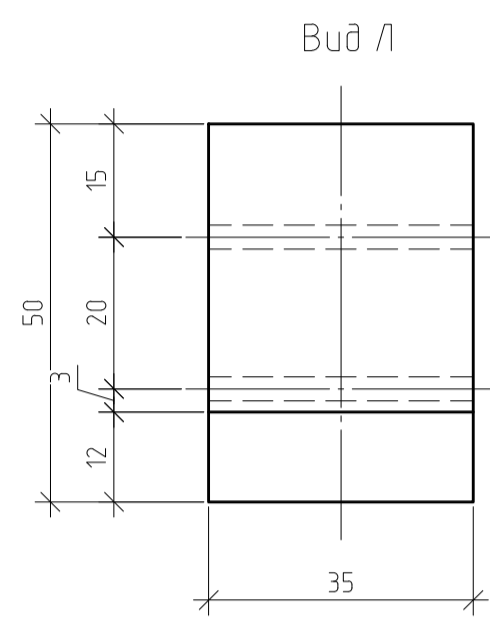
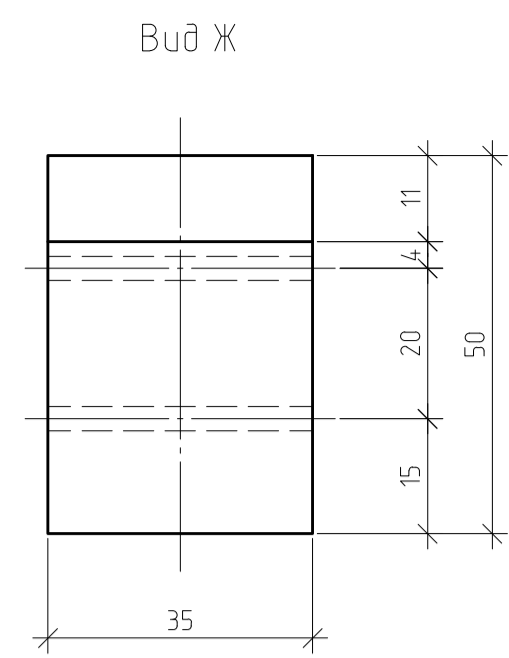
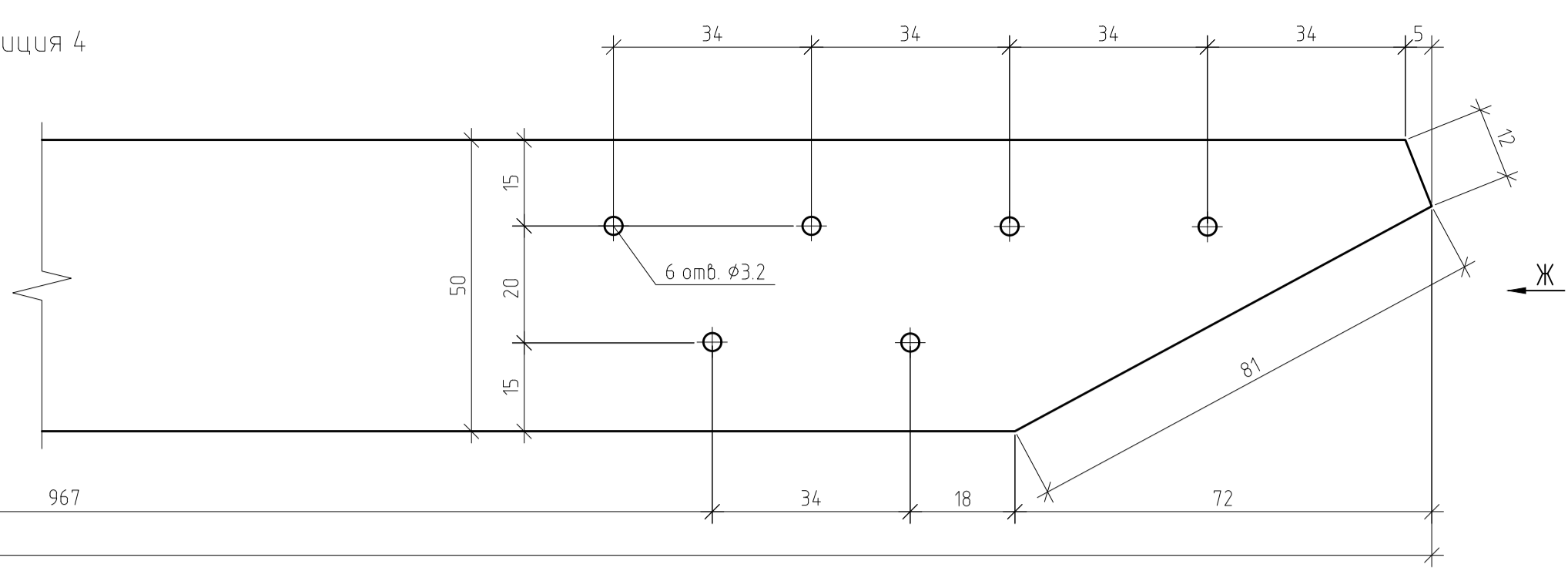
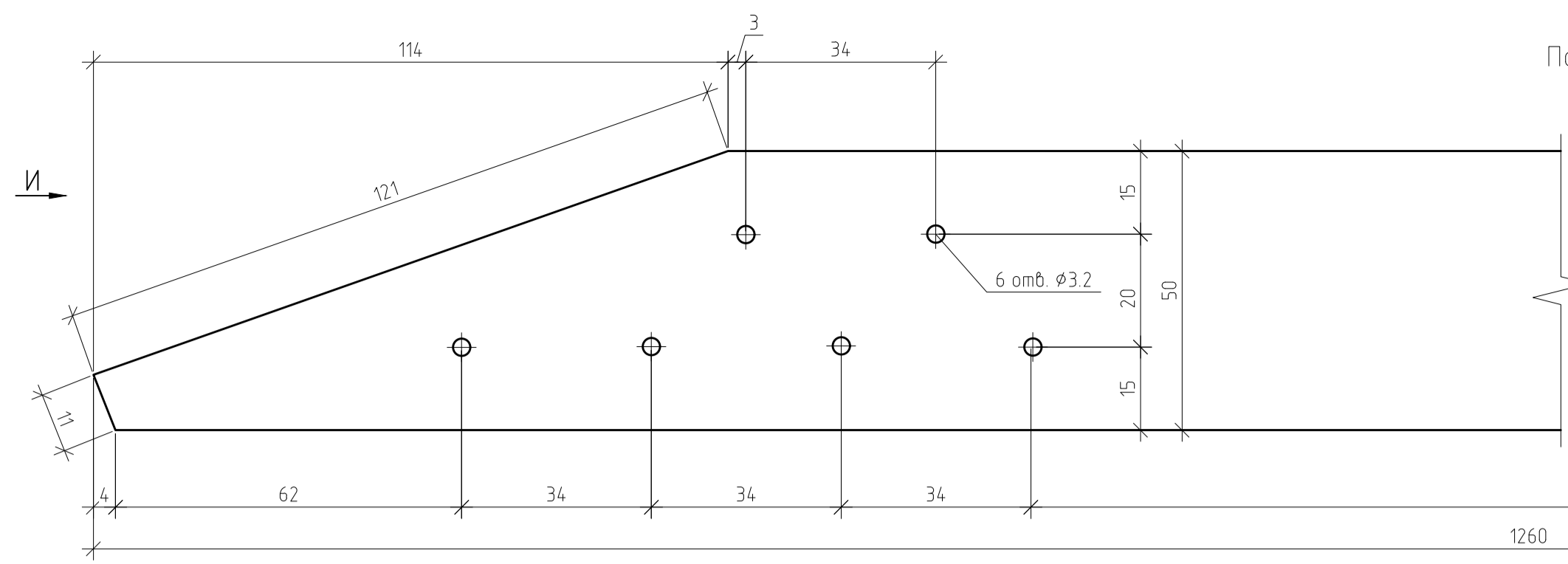
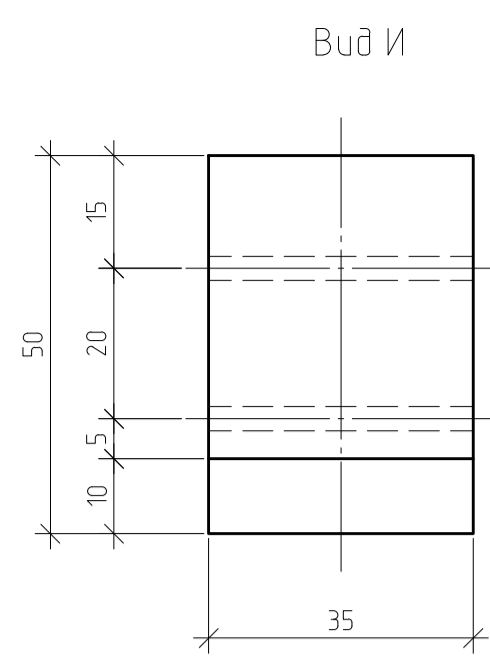


3D-вид



Примечания:
 Все болты изготовлены в соответствии с ГОСТ 7798-70.
 Все саморезы изготовлены в соответствии с ГОСТ 11652-80.
 Торцы элементов поз. 2 и 3 скосят по месту при помощи рубанка или шлифовальной машинки в соответствии с чертежами.
 Данный лист читать совместно с Листом 1, 2 и 4.

ДР-08.05.01 - КД					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. ф.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Выполнил	Третьяк О.О.				
Консультант	Григорьев С.В.				
Руководитель	Григорьев С.В.				
Н.контр.оль	Григорьев С.В.				
Зав.кафедрой	Леордиев С.В.				
Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов		Стандия	Лист	Листов	
ЛПП, Вид сверху, 3D-вид, Спецификация элементов		3		СКУС	



Примечания:
Саморез, скрепляющий раскосы между собой, забивать без отверстий.

ДР-08.05.01 - КДД					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Выполнил	Третьяк О.О.				
Консультант	Григорьев С.В.				
Руководитель	Григорьев С.В.				
Н.контр.оль	Григорьев С.В.				
Зав.кафедрой	Леоридов С.В.				
Исследование линзовидной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов		Стандия	Лист	Листов	
Позиция 4, 5, 7, 9-11; Вид В-Л; Позиция 7, 3D-вид; Позиция 9, 3D-вид		5		СКУС	

Согласовано
Подп. и дата
Взвешено №



Таблица зависимости максимального прогиба плиты от толщины элементов поясов

Толщина элемента пояса t_d , мм	Начальные напряжения σ_0 , кН/м ²	Максимальные перемещения Z_{max} , мм	Предельный прогиб $[f]$, мм	Запас жесткости, %
44,5	1,305	-24,608	-30	18
43	1,178	-25,727	-30	14
41,5	1,059	-26,931	-30	10
40	0,948	-28,23	-30	6
38,5	0,845	-29,639	-30	1
37	0,75	-31,172	-30	-4

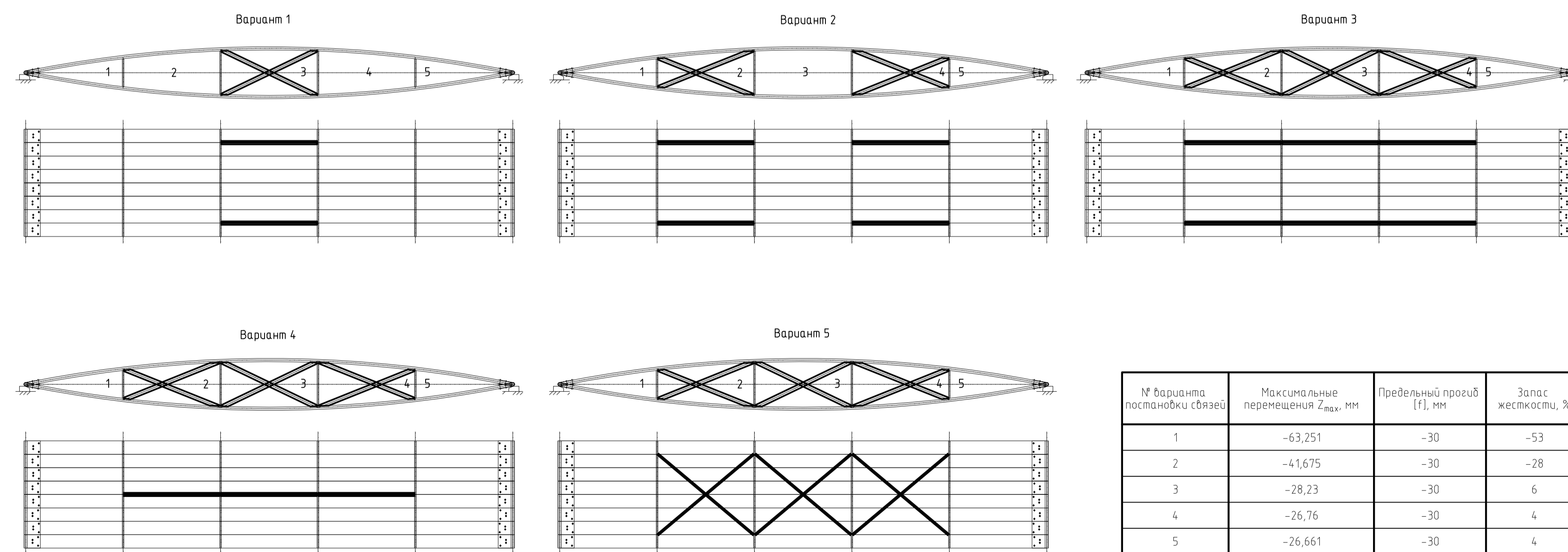
Таблица зависимости максимального прогиба плиты от величины начального выгиба поясов

Начальный выгиб элементов поясов f_0 , мм	Начальные напряжения σ_0 , кН/м ²	Максимальные перемещения Z_{max} , мм	Предельный прогиб $[f]$, мм	Запас жесткости, %	Суммарный прогиб $f_{сум}$, мм	Максимальный прогиб f_{max} , мм
250	0,79	-39,476	-30	-32	-289,476	-365,625
275	0,869	-33,128	-30	-10	-308,128	-365,625
300	0,948	-28,23	-30	6	-328,23	-365,625
325	1,027	-24,373	-30	19	-349,373	-365,625
350	1,106	-21,28	-30	29	-371,28	-365,625

Таблица зависимости максимального прогиба плиты от количества стоек

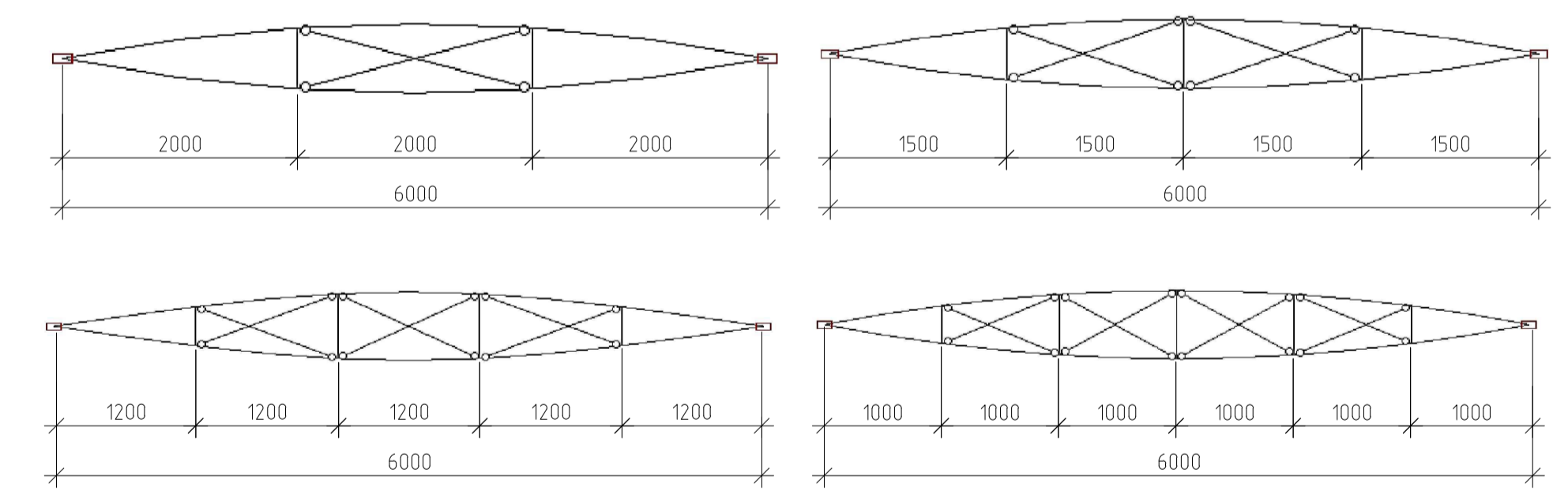
Количество стоек, шт.	Максимальные перемещения Z_{max} , мм	Предельный прогиб $[f]$, мм	Запас жесткости, %
2	-34,654	-30	-16
3	-31,159	-30	-4
4	-28,23	-30	6
5	-23,358	-30	22

Схемы линзообразных плит покрытия с различными вариантами постановки крестовых связей (вид сбоку)



№ варианта постановки связей	Максимальные перемещения Z_{max} , мм	Предельный прогиб $[f]$, мм	Запас жесткости, %
1	-63,251	-30	-53
2	-41,675	-30	-28
3	-28,23	-30	6
4	-26,76	-30	4
5	-26,661	-30	4

Расчетные схемы линзообразных плит покрытия с разным количеством стоек (вид сбоку)

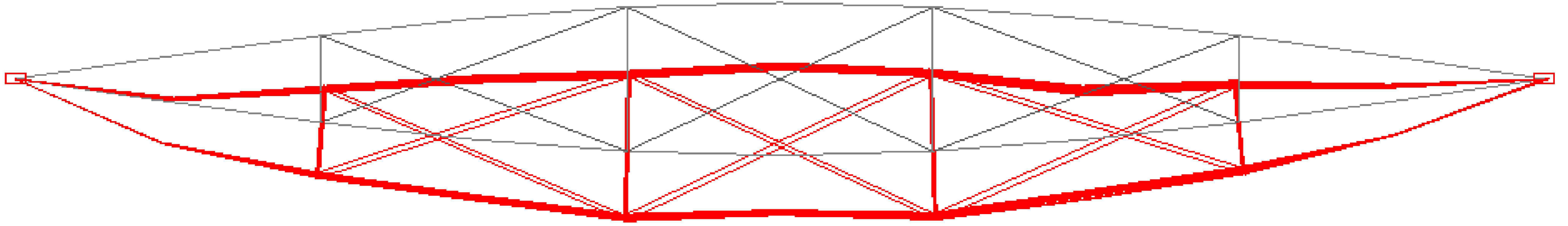


Примечания:
 На схемах с различными вариантами постановки связей показаны вид сбоку и вид сверху, а также условно пронумерованы секторы плиты.

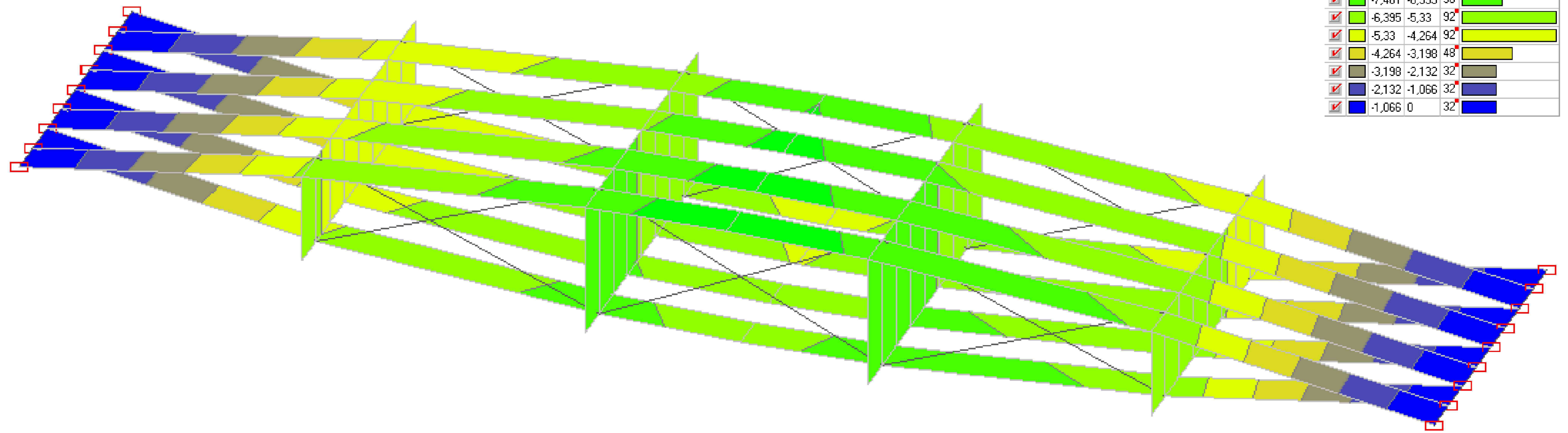
ДР-08.05.01					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. ф.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Выполнил	Третьяк О.О.				
Консультант	Григорьев С.В.				
Руководитель	Григорьев С.В.				
Н. контроль	Григорьев С.В.				
Зав. кафедрой	Леонидов С.В.				
Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных погонажных элементов			Стандия	Лист	Листов
Исследование зависимости жесткости линзообразной плиты покрытия от различных факторов			6		
СКУС					

Копиробал А1

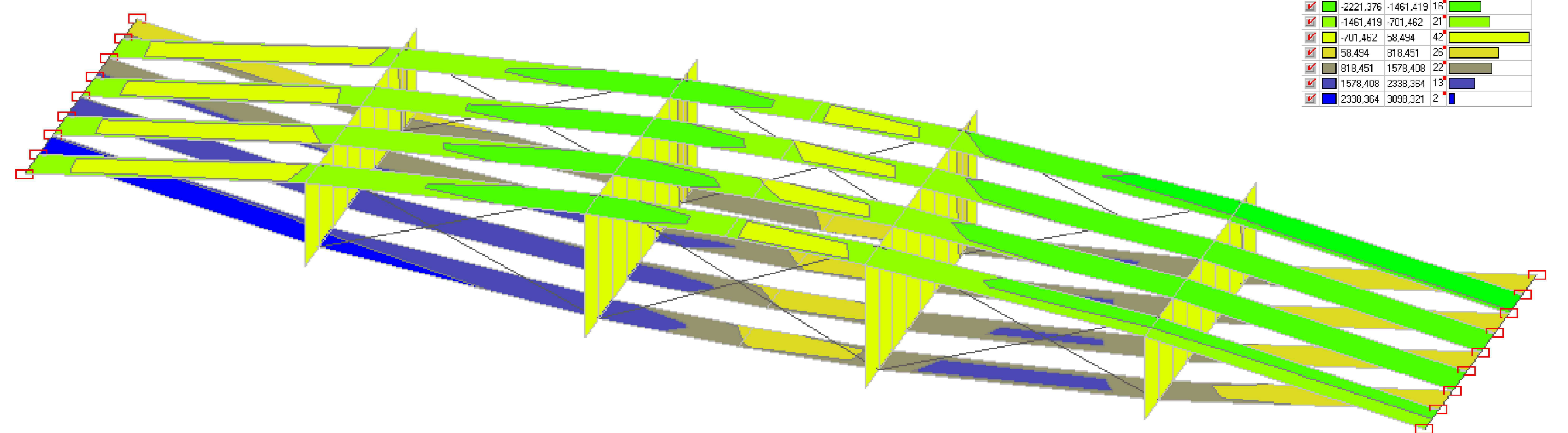
Деформированная схема уменьшенной модели плиты (вид сбоку)



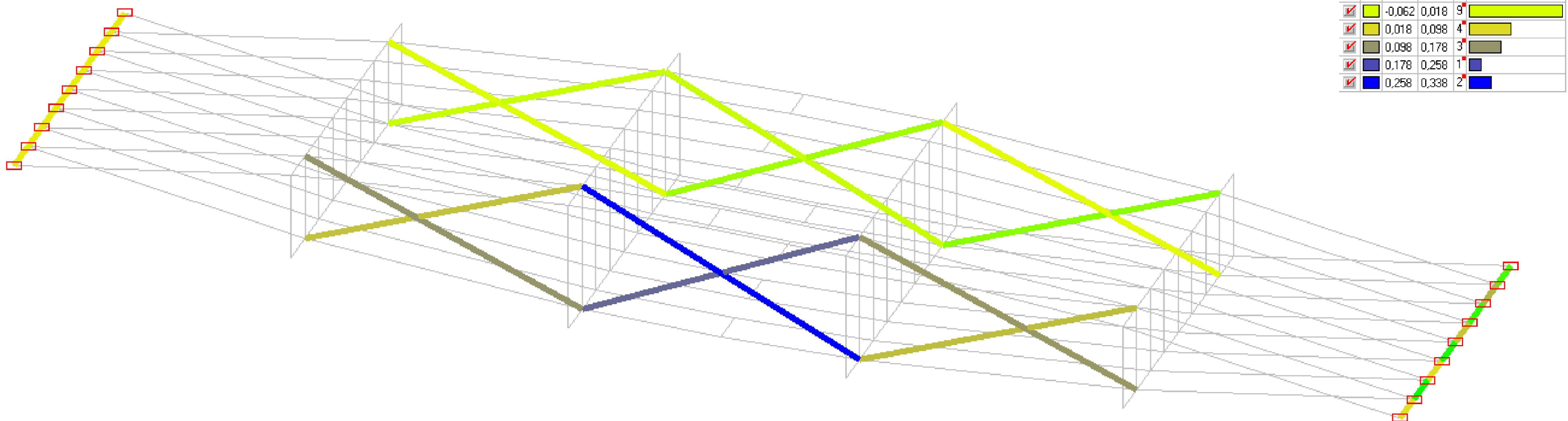
Изополю перемещений Z, мм, от комбинации нагрузок С2 (односторонняя снеговая нагрузка) в уменьшенной модели плиты



Изополю напряжений σ_x (N_x) в пластинах, кН/м², от комбинации нагрузок С2 (односторонняя снеговая нагрузка) в уменьшенной модели плиты

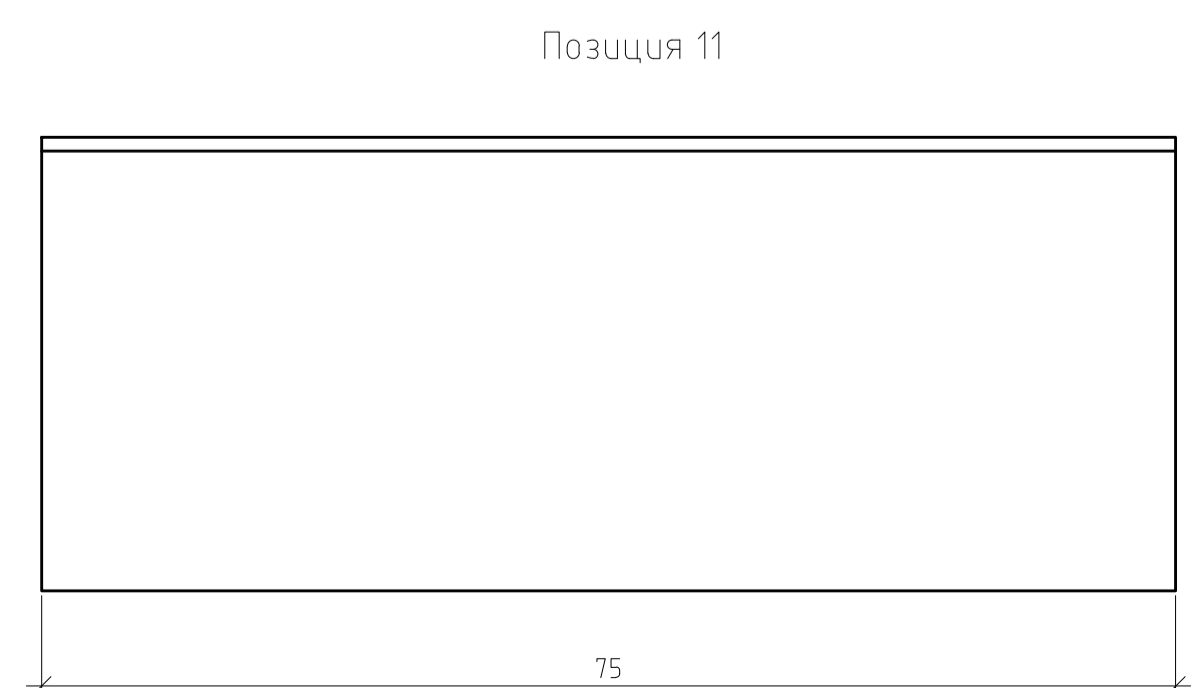
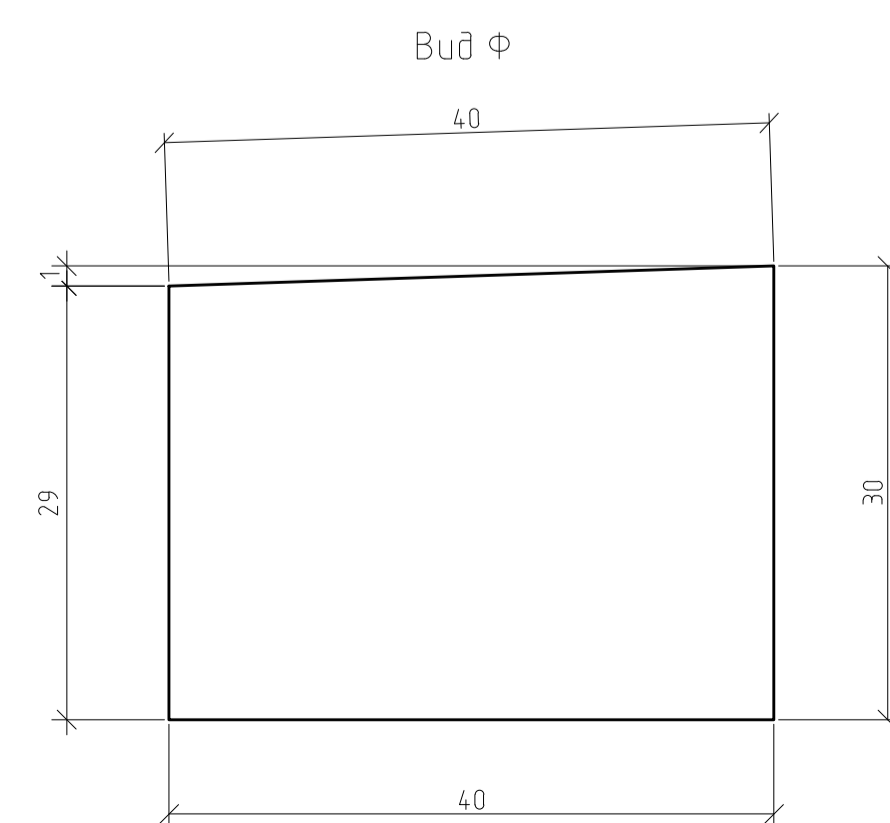
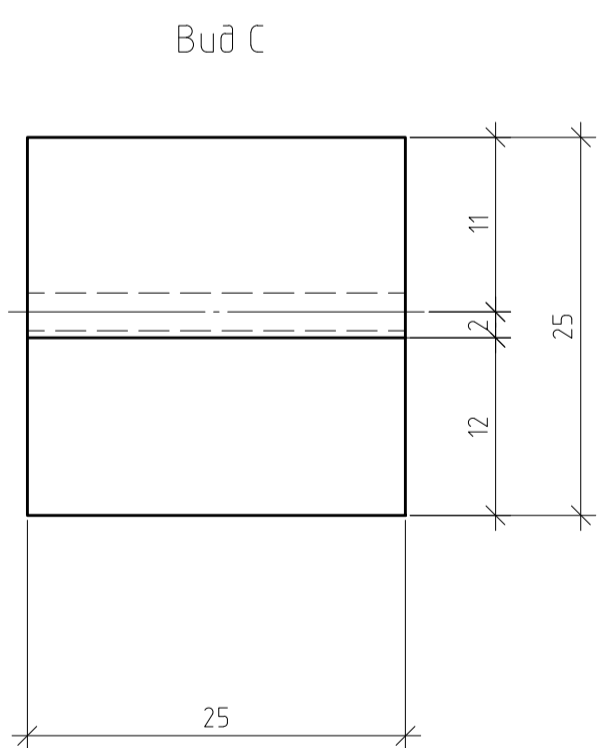
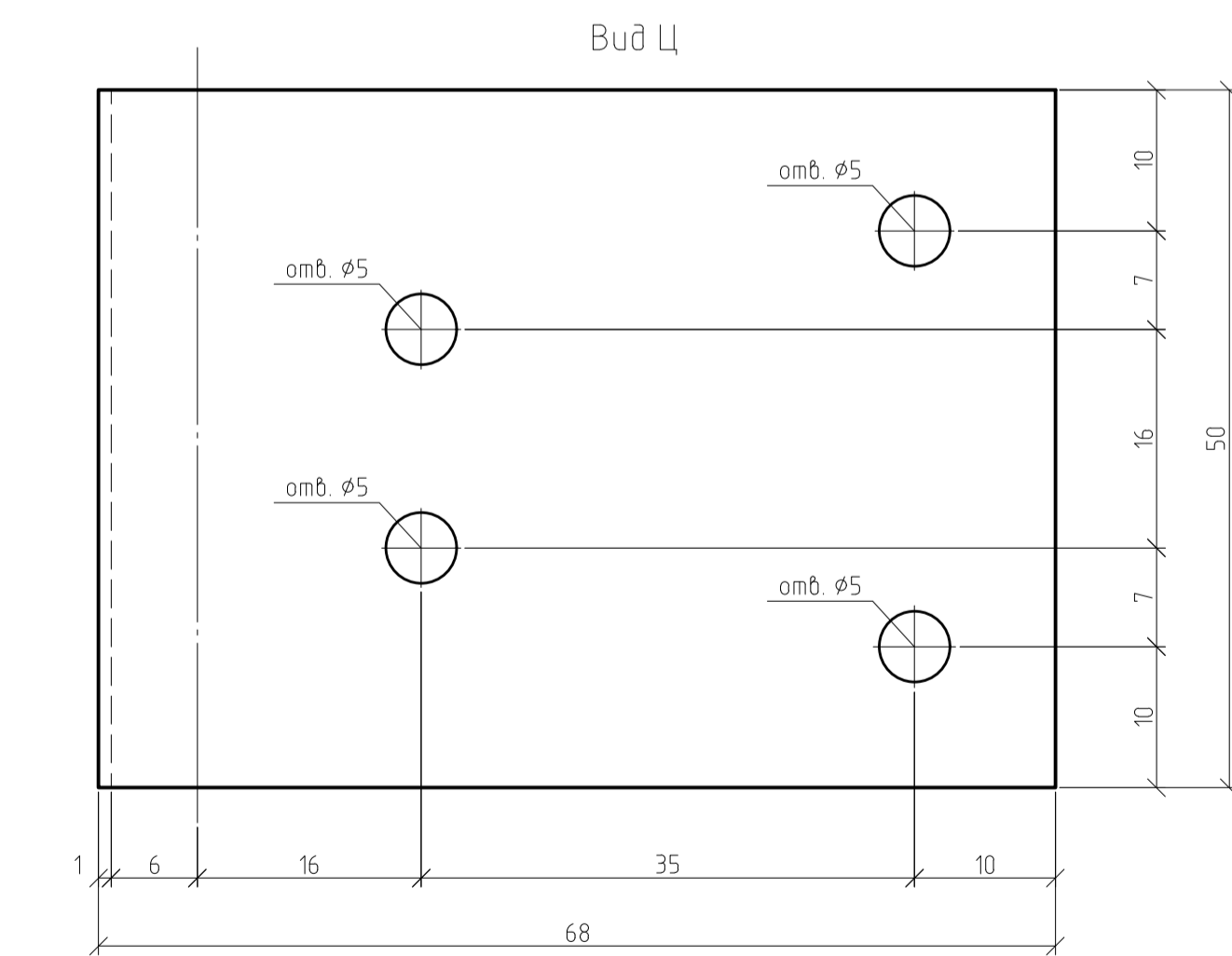
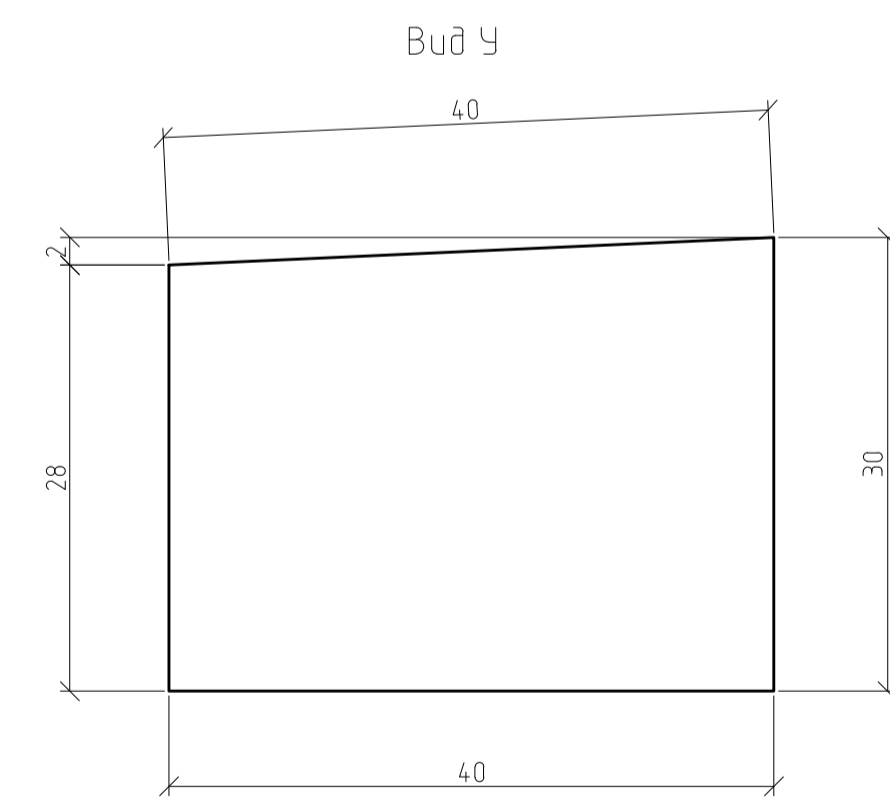
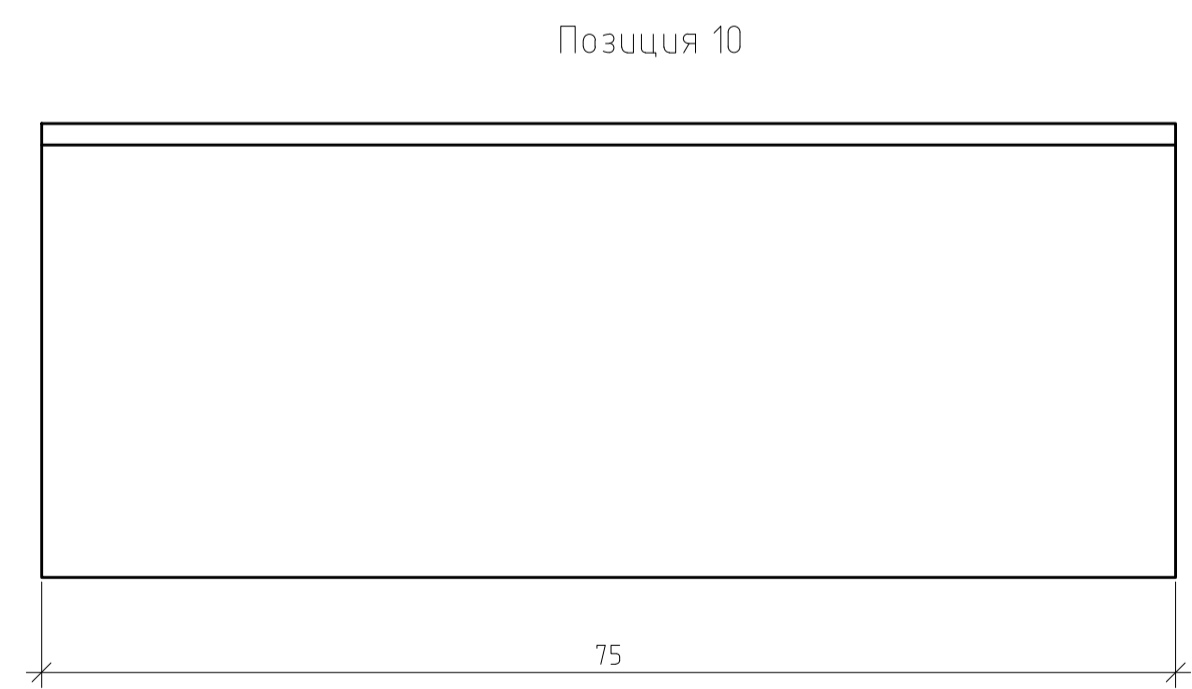
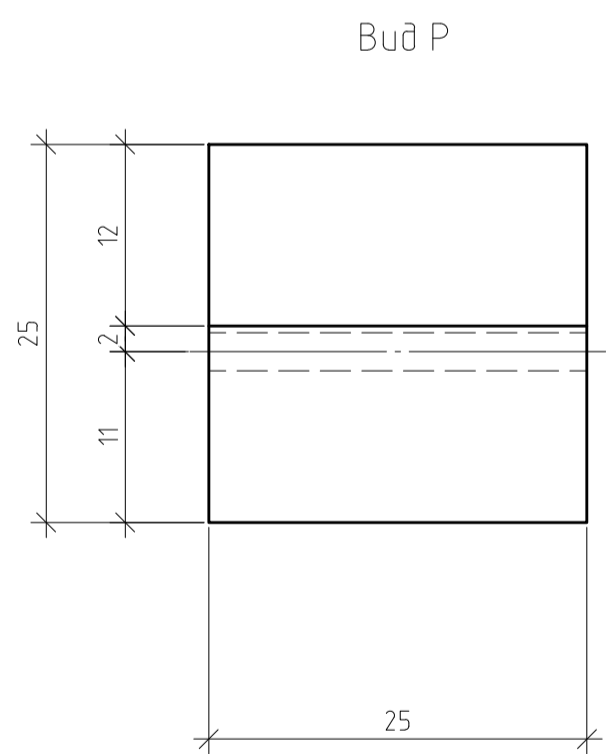
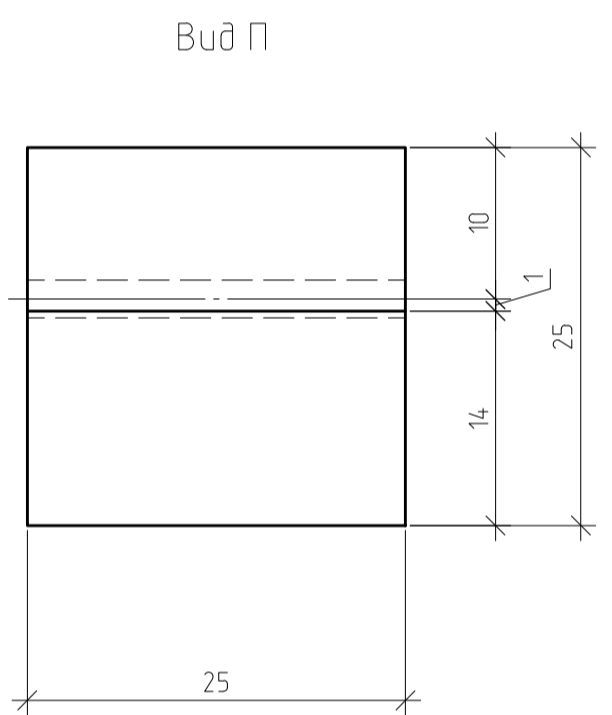
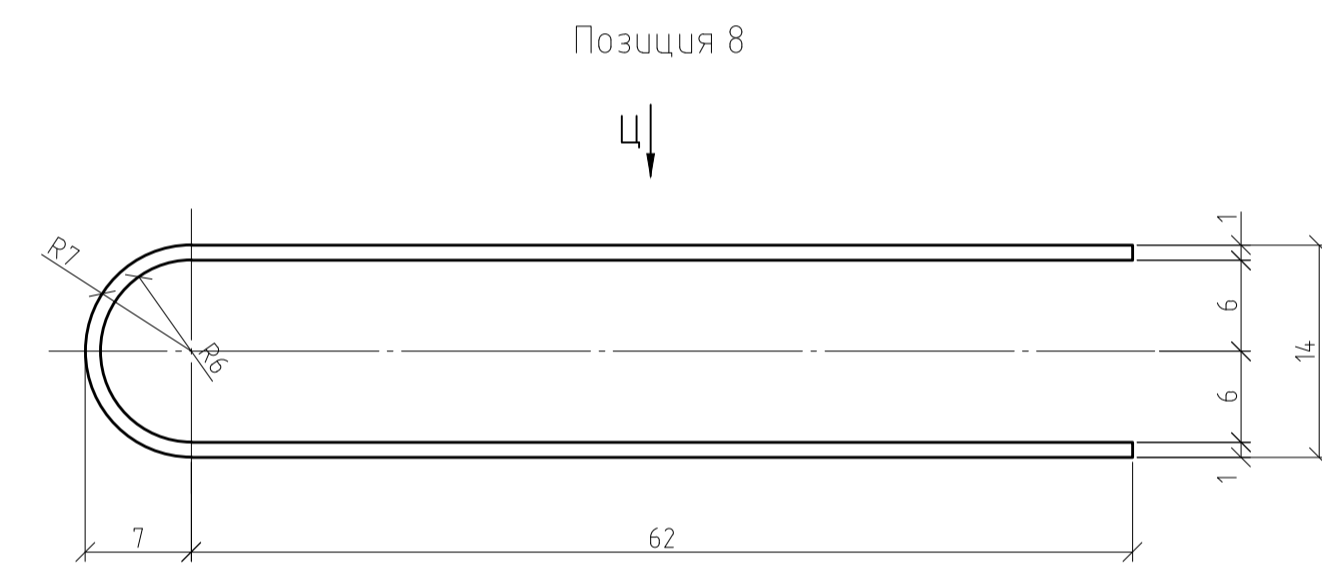
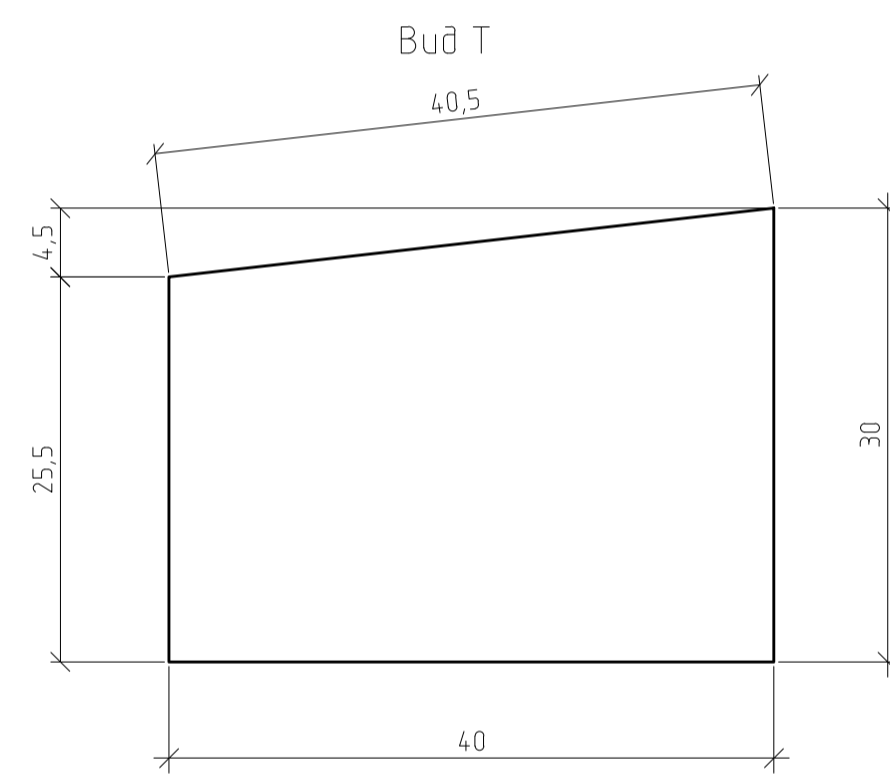
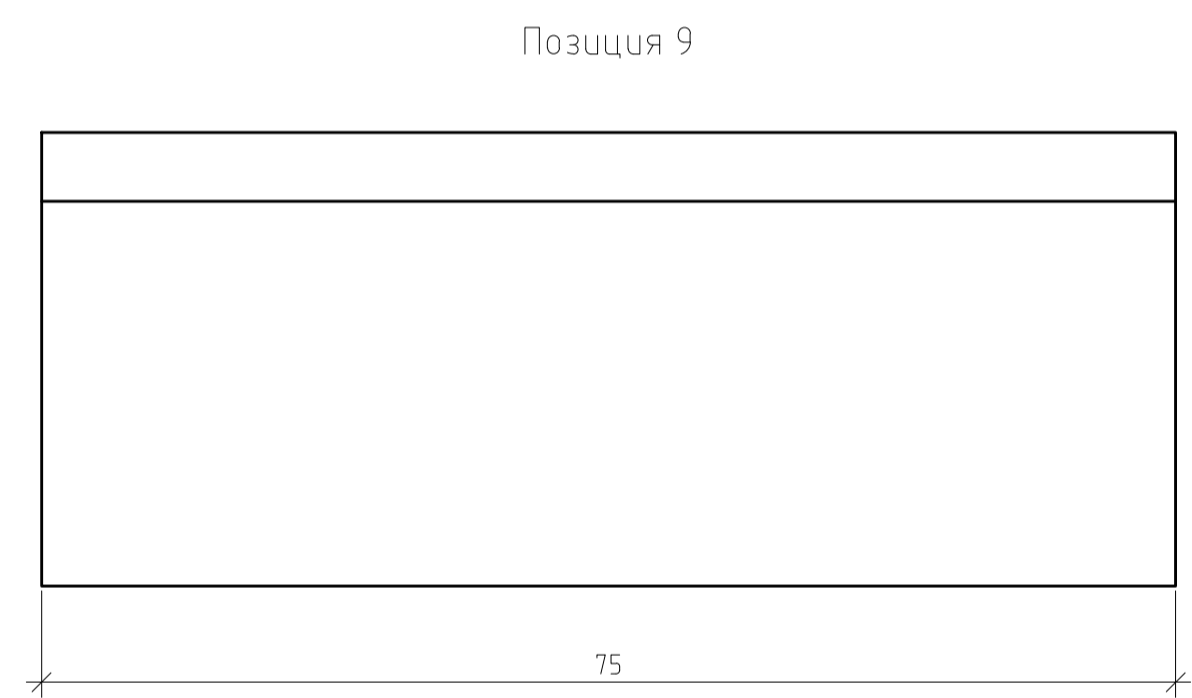
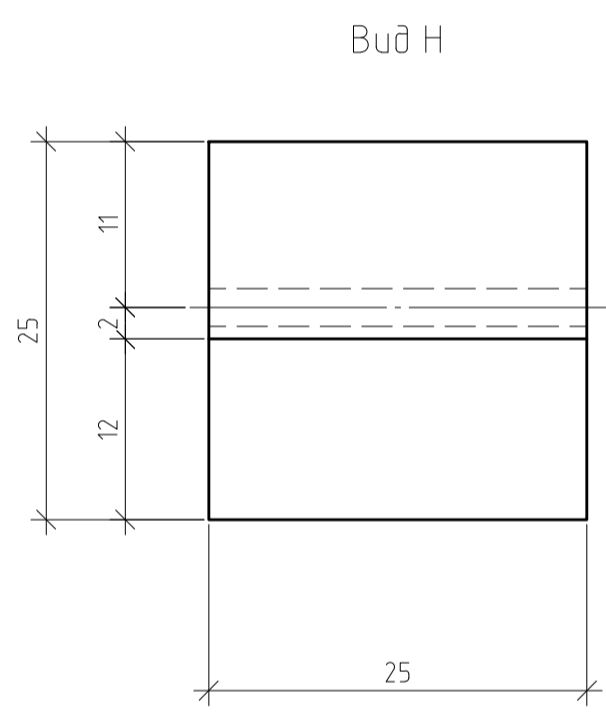
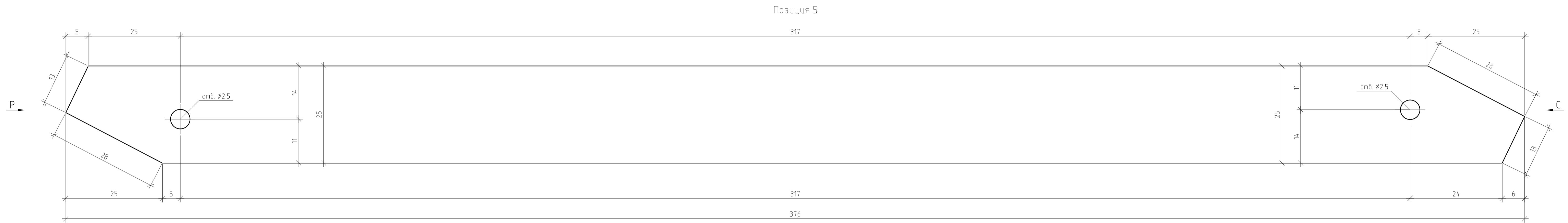
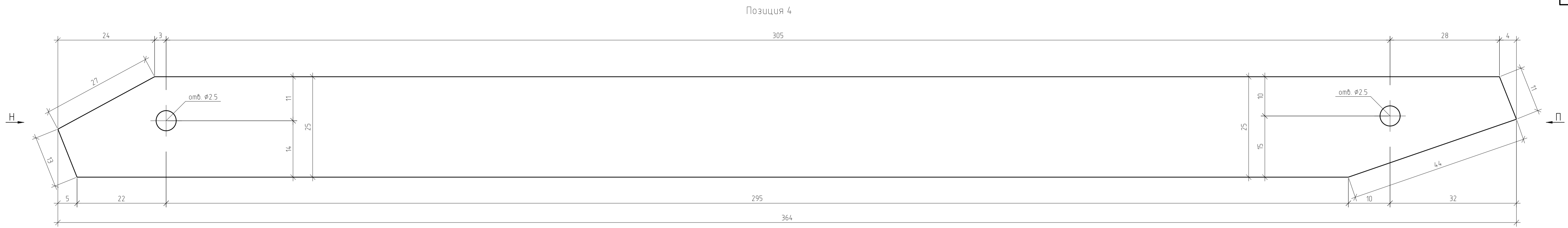


Цветовое отображение значений усилий N, кН, в раскосах и поперечных стержнях уменьшенной плиты покрытия



Примечания:
Данный лист читать совместно с Листом 8 и 9.

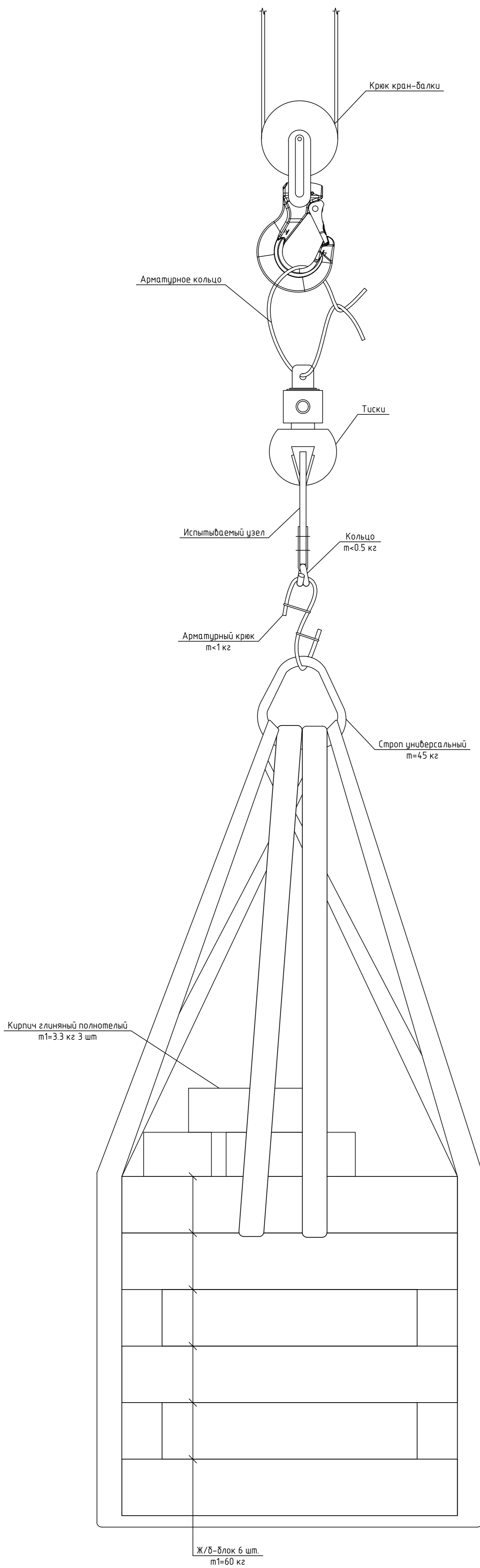
ДР-08.05.01					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Код изм.	Лист	М. док.	Подп.	Дата
Выполнил	Григорьев О.О.				
Консультант	Григорьев С.В.				
Руководитель	Григорьев С.В.				
Н. контроль	Григорьев С.В.				
Заб. кафедры	Леоридов С.В.				
Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосчатых элементов				Стадия	Лист
Результаты расчета в ПК SCAD					7
				СКУС	



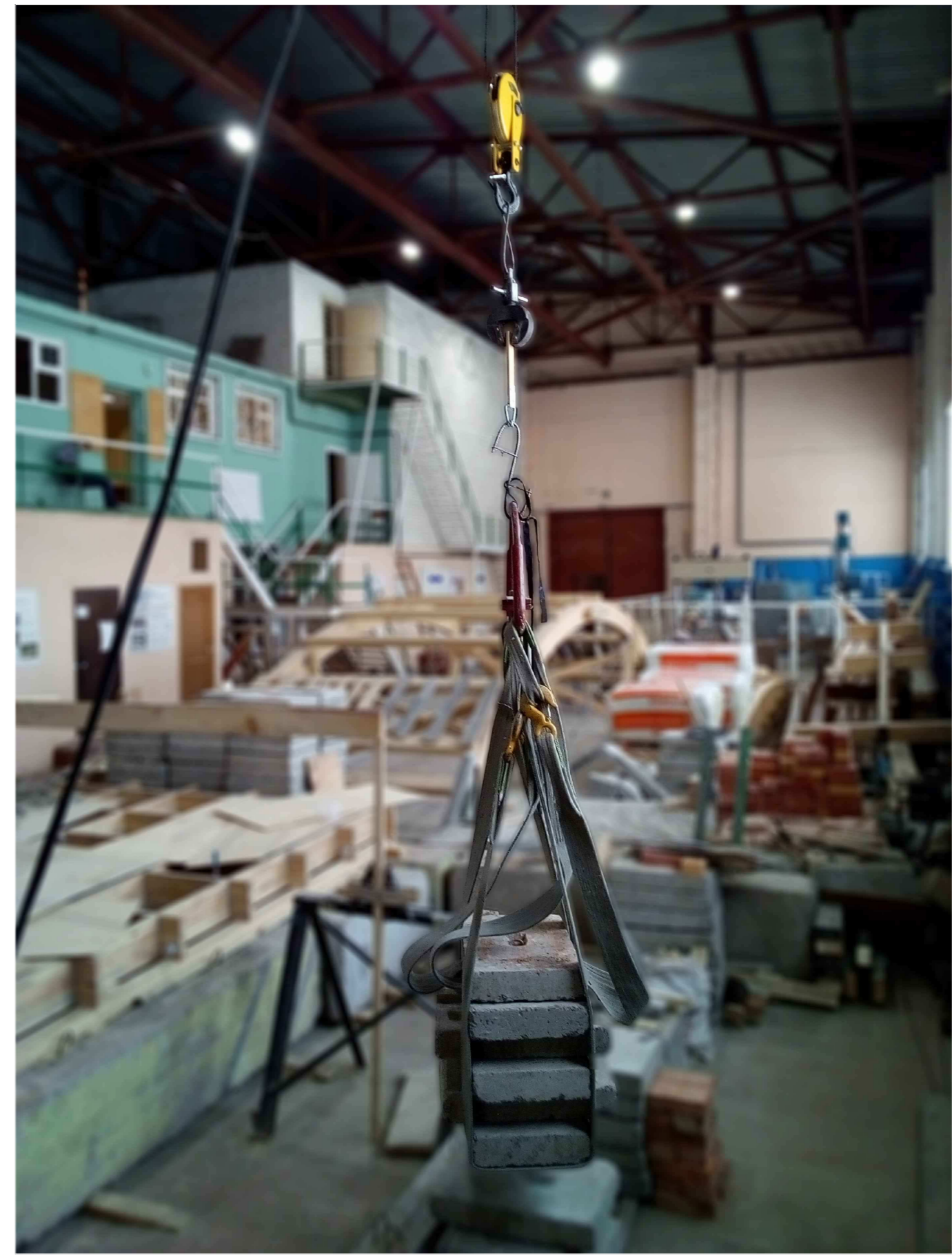
Согласовано					
Имя, И.П.Ф.	Подпись	Дата	Взвешено	№	

ДР-08.05.01 - КДД					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Выполнил	Третяк О.О.				
Исследование линзообразной			Стандия	Лист	Листов
плиты покрытия				10	
из деревянных полосовых элементов					
Позиция 4-5, 8-11,					
Вид Н-Ц					
Зав. кафедрой			СКУС		

Схема испытания соединения поясного элемента с наконечником



Испытание наконечника с подвешенным грузом (m=418,8 кг)



Наконечник после испытаний



416 кг – нагрузка, критическая для соединения (при котором произошло разрушение).

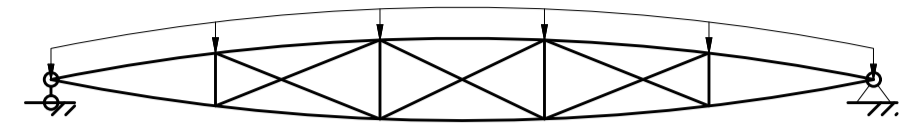
Согласовано	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № инв.	

ДР-08.05.01					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. изм.	Лист	М. док.	Подп.	Дата
Выполнил	Гретьак О.О.				
Консультант	Григорьев С.В.				
Руководитель	Григорьев С.В.				
Н. контроль	Григорьев С.В.				
Заб. кафедры	Леоридьев С.В.				
Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов				Стадия	Лист
Схема подвешивания наконечника, Испытание наконечника с подвешенным грузом (m=418,8 кг), Наконечник после испытаний				11	Листов
				СКУС	

Ступени нагружения модели:

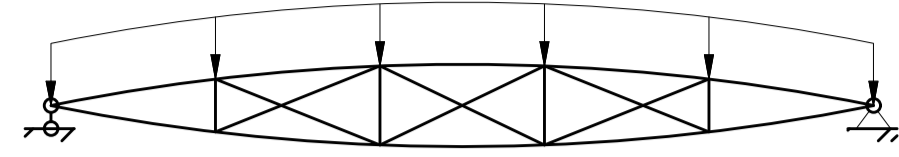
Равносторонняя нагрузка
I ступень
(0,25 $q_{норм}$)

0,67 кН/м²



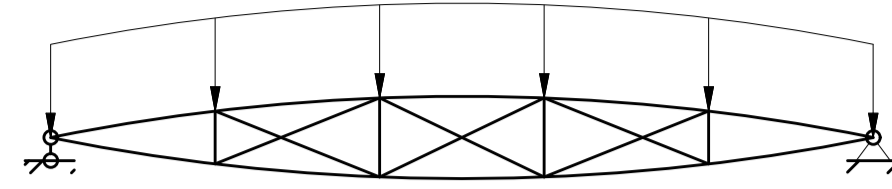
Равносторонняя нагрузка
II ступень
(0,5 $q_{норм}$)

1,34 кН/м²



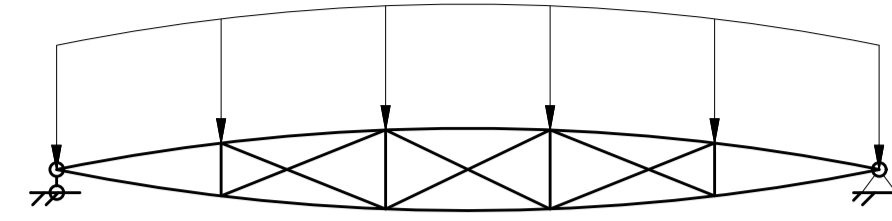
Равносторонняя нагрузка
III ступень
(0,75 $q_{норм}$)

2,01 кН/м²



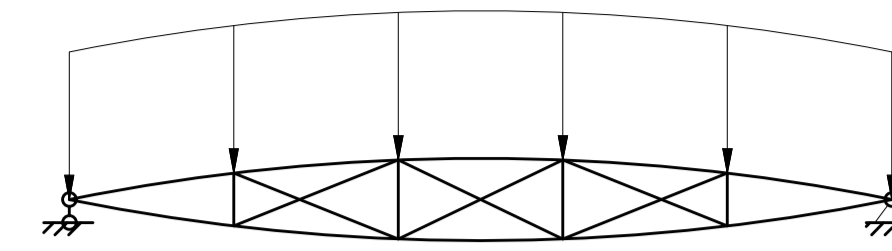
Равносторонняя нагрузка
VI ступень
($q_{норм}$)

2,69 кН/м²



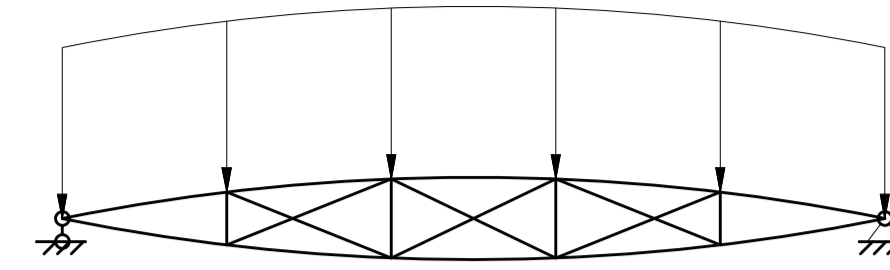
Равносторонняя нагрузка
V ступень
($q_{норм} + 0,5 q_{расч}$)

3,21 кН/м²



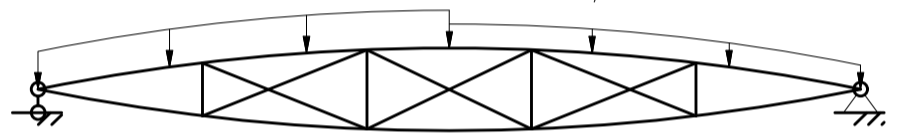
Равносторонняя нагрузка
VI ступень
($q_{расч}$)

3,73 кН/м²



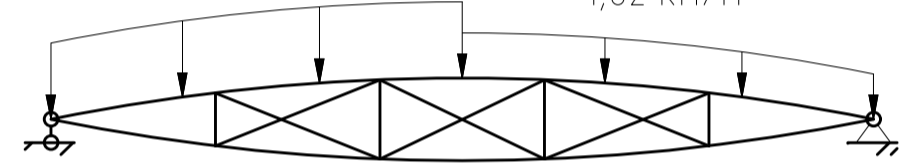
Односторонняя нагрузка
I ступень
(0,25 $q_{норм}$)

0,83 кН/м² 0,51 кН/м²



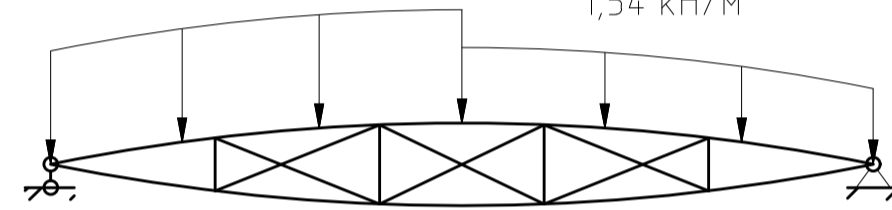
Односторонняя нагрузка
II ступень
(0,5 $q_{норм}$)

1,66 кН/м² 1,02 кН/м²



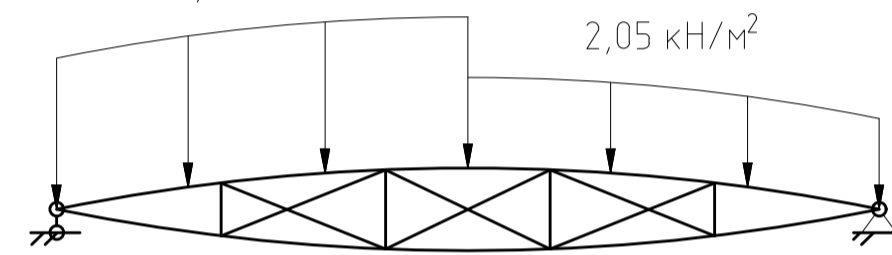
Односторонняя нагрузка
III ступень
(0,75 $q_{норм}$)

2,49 кН/м² 1,54 кН/м²



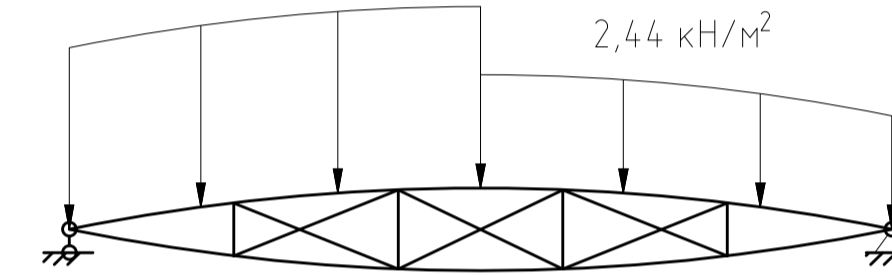
Односторонняя нагрузка
VI ступень
($q_{норм}$)

3,32 кН/м² 2,05 кН/м²



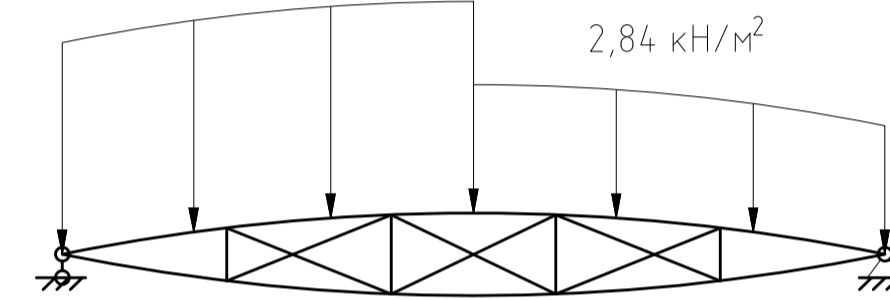
Односторонняя нагрузка
V ступень
($q_{норм} + 0,5 q_{расч}$)

3,97 кН/м² 2,44 кН/м²



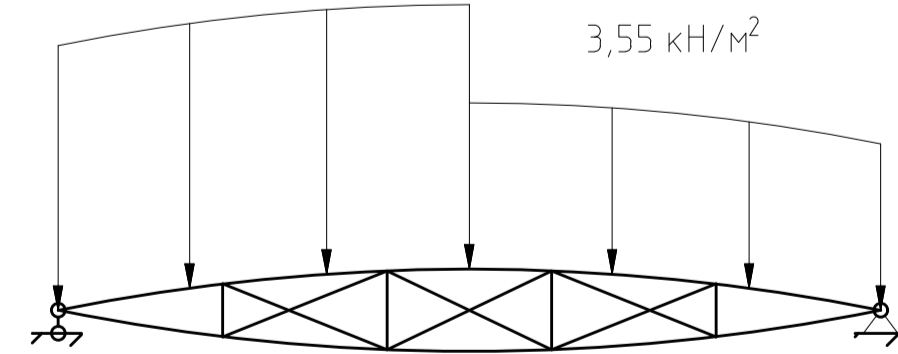
Односторонняя нагрузка
VI ступень
($q_{расч}$)

4,62 кН/м² 2,84 кН/м²



Односторонняя нагрузка
VII ступень
($q_{расч} + 0,25 q_{расч}$)

5,78 кН/м² 3,55 кН/м²



Односторонняя нагрузка
VIII ступень
($q_{расч} + 0,5 q_{расч}$)

7,23 кН/м² 4,44 кН/м²

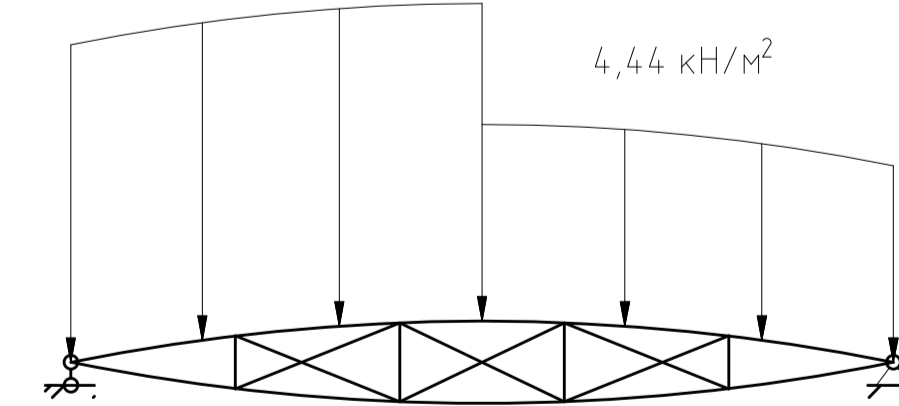
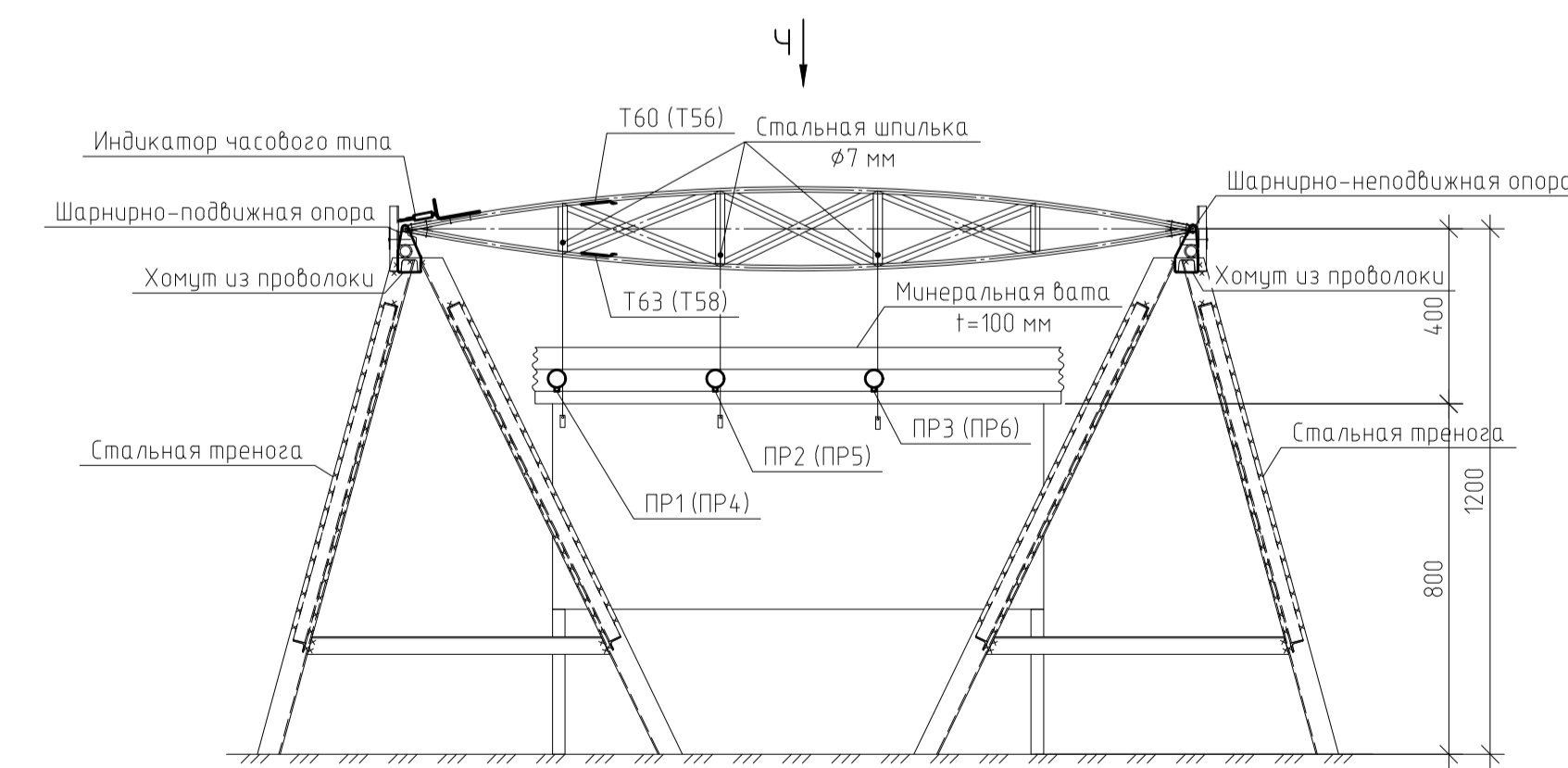
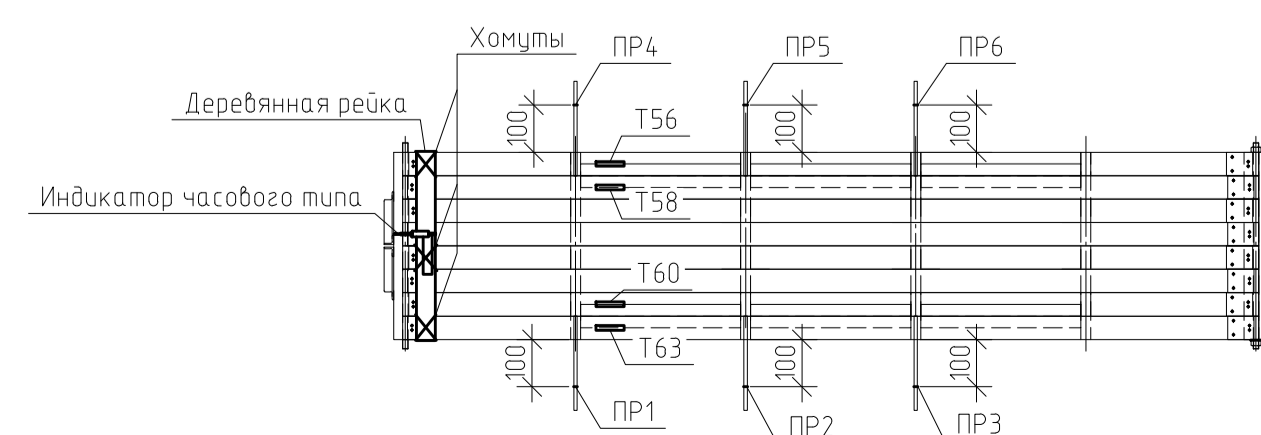


Схема расположения измерительных приборов



Вид Ч



Фотография установки модели плиты



Фотография крепления модели плиты и треноги



Примечания:
Позициями ПР1, ПР6 обозначены габризаторы Аистова 6-ПА0.
Позициями Т56, Т58, Т60 и Т63 обозначены тензорезисторы 2ФКП-60-120-А-12-С (база 60 мм, номинальное сопротивление 120 Ом).
На виде Ч схемы расположения измерительных приборов металлические треноги и стол условно не показаны.

ДР-08.05.01					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный Университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Выполнил	Третяк О.О.				
Консультант	Григорьев С.В.				
Руководитель	Григорьев С.В.				
Н.к. контроль	Григорьев С.В.				
Зав. кафедрой	Леоридов С.В.				
		Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов		Страница	Лист
					12
				СКУС	

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
институт

Строительных конструкций и управляемых систем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

С. В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия


« _____ » _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»
код и наименование специальности

Исследование линзообразной плиты покрытия
из деревянных полосовых элементов
тема

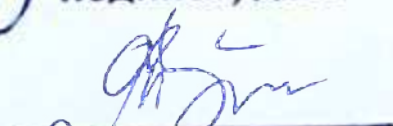
Руководитель

 23.06.2020
подпись, дата

доц., к.т.н.
должность, ученая степень

С. В. Григорьев
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

О. О. Третьяк
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

ВКР в виде работы

Тема: «Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов»

Автор: студентка гр. СС14-11 Третьяк Олеся Олеговна

ПЛАН РАБОТЫ

Введение

Цель и задачи

Глава 1. Обзор существующих конструктивных решений

Глава 2. Численное исследование принятого конструктивного решения

2.1 Анализ формообразования

2.2 Расчёт и выбор наиболее эффективных геометрических параметров конструкции 6-тиметровой плиты

2.4 Расчёт принятой конструкции плиты

2.5 Определение коэффициента подобия для уменьшенной испытательной модели

2.6 Расчет модели

Глава 3. Испытания

3.1 Описание испытательной модели и установки

3.2 Методика и содержание испытаний

3.3 Результаты испытаний

Заключение

Подпись руководителя


подпись, дата

С.В. Григорьев
инициалы, фамилия

Подпись зав. кафедрой


подпись, дата

С.В. Деордиев
инициалы, фамилия

Подпись руководителя отд. ПГС


подпись, дата

Н.Ю. Клиндух
инициалы, фамилия

Отзыв руководителя

на выпускную квалификационную работу

Тема Исследование микроструктуры плиты покрытия из железобетонных поясовых элементов

Автор (ФИО) Третьяк Олеся Олеговна

Институт Инженерно-строительный

Выпускающая кафедра СКиУС

Направление подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений

Специальность 08.05.01.01 Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений

Руководитель к.т.н., доцент каф. СКиУС ИСИ С.В. Григорьев

Актуальность темы ВКР Разработка нового типа конструкции плиты покрытия является актуальной конструктивной задачей

Логическая последовательность структуры работы требует акцентировать внимание на исследовании особенностей конструкции. Выполнен численный расчет блока

плиты пролета 6 м, разработаны проект исследуемой конструкции. Определены коэффициент поворота и разработана уменьшенная модель.

Разработаны методика испытаний и вычисления, которые использованы. Выполнены сравнительные результаты работы с существующей конструкцией.

Аргументированность и конкретность выводов и предложений полученные в результате исследования выводы достаточно

аргументированы и могут быть использованы при проектировании блоков покрытия


Уровень самостоятельности и ответственности при работе над ВКР Работа выполнена самостоятельно, исследование выполнено качественно на высоком профессиональном уровне.

Достоинства работы Тема ВКР раскрыта полностью и соответствует

Недостатки работы предъявляемые требования отсутствуют

В целом работа оценена на отлично, а ее автор (выпускник) Третьяк Олеся Олеговна

заслуживает присвоения ему (ей) квалификации инженер-строитель по специальности «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений»

Руководитель ВКР  С.В. Григорьев

РЕЦЕНЗИЯ
на дипломную работу

Третьяк Олеси Олеговны
(Ф.И.О. студента)

Исследование линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых
элементов
(название дипломной работы)

представленной к защите по направлению

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»
(код и наименование специальности)

Целью исследовательской работы является исследование эффективной конструкции линзообразной плиты покрытия из деревянных полосовых элементов, обеспечивающих снижение веса и затрат на доставку при одновременном снижении металлоемкости, трудоемкости изготовления и монтажа, а также возможности монтировать как готовый блок «с колес», так и по частям непосредственно на строительной площадке.

Проанализировав материалы рецензируемой дипломной работы, отмечается следующее:

1. Дипломная работа выполнена на актуальную тему, связанную с разработкой и анализом напряженно-деформированного состояния линзообразной плиты покрытия.

2. В рамках дипломной работы выполнены следующие задачи:

- сравнение технико-экономических показателей вариантов исполнения линзообразной плиты покрытия – из металлопроката и деревянных досок – и прототипа плиты;
- проведение численного исследования напряженно-деформированного состояния линзообразной плиты покрытия в программном комплексе «SCAD»;
- подбор поперечных сечений и конструирование узлов сопряжений элементов линзообразной плиты покрытия;
- анализ конструктивных факторов, влияющих на жесткость линзообразной плиты покрытия;
- подбор коэффициента подобия для уменьшенной модели плиты;
- изготовление уменьшенной модели плиты;
- проведение натурных испытаний;
- анализ полученных результатов испытаний и их сравнение с результатами численного расчета;
- выводы по ВКР.

3. Работа построена логично, грамотно. Теоретический материал написан корректным научным языком. Графическая часть имеет четкость представления, системный анализ материала и логичность изложения.

4. Положительные стороны работы:

- результаты исследования характера напряженно-деформированного состояния конструкции могут быть использованы для дальнейшего создания рекомендаций к расчету и конструированию линзообразных плит покрытия;

- в рамках дипломной работы автором решены все поставленные задачи и полностью раскрыта суть проведенного исследования. Работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне.

5. Замечание по дипломной работе:

Для более адекватной оценки линии прогибов модели плиты при натурном эксперименте правильнее было бы устанавливать прогибомеры под всеми стойками и, соответственно, строить линии прогибов по четырем точкам, а не по трем.

В целом, несмотря на отмеченный недочет, представленная дипломная работа выполнена на достойном научно-техническом уровне и заслуживает высокую положительную оценку, а ее автор, Третьяк Олеся Олеговна, заслуживает присвоения оценки "Отлично".

Рецензент

Марышев А. Ю.

Ген. директор ООО «СибПРК», к.т.н.
(место работы, занимаемая должность)



Марышев
(подпись) (ФИО)

» июня 2020 г.

Отчет о проверке на заимствования №1



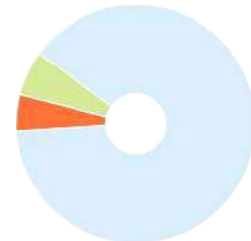
Автор: Третьяк Олеся Олеговна
Проверяющий: Захаров Павел Алексеевич (bik@sfu-kras.ru / ID: 256)
Организация: Сибирский федеральный университет
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://sfukras.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 88893
 Начало загрузки: 27.06.2020 11:48:10
 Длительность загрузки: 00:00:43
 Имя исходного файла: Неизвестно
 Название документа: Исследование линзообразной плиты покрытия с деревянными полосовыми элементами
 Размер текста: 1 кБ
 Тип документа: Выпускная квалификационная работа
 Символов в тексте: 158808
 Слов в тексте: 19547
 Число предложений: 1068

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
 Начало проверки: 27.06.2020 11:48:55
 Длительность проверки: 00:01:43
 Комментарии: не указано
 Модули поиска: Модуль поиска ИПС "Адилет", Модуль выделения библиографических записей, Сводная коллекция ЭБС, Модуль поиска "Интернет Плюс", Коллекция РГБ, Цитирование, Модуль поиска переводных заимствований, Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu), Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu), Коллекция eLIBRARY.RU, Коллекция ГАРАНТ, Коллекция Медицина, Диссертации и авторефераты НББ, Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU, Модуль поиска перефразирований Интернет, Коллекция Патенты, Модуль поиска "СФУ", Модуль поиска общепотребительных выражений, Кольцо вузов



ЗАИМСТВОВАНИЯ

4,81% ■

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0% ■

ЦИТИРОВАНИЯ

6,23% ■

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

88,96% ■

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
 Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
 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.
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.
 Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
 Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	2,92%	2,92%	не указано	не указано	раньше 2011	Модуль выделения библиографических записей	4	4
[02]	0,98%	1,11%	Свод правил СП 64.13330.2017 "Деревян.	http://ivo.garant.ru	21 Фев 2019	Коллекция ГАРАНТ	25	29
[03]	0%	1,11%	Свод правил СП 64.13330.2017 "Деревян.	http://ivo.garant.ru	10 Апр 2019	Коллекция ГАРАНТ	0	29
[04]	1,04%	1,05%	Региональный методический докумен..	http://ivo.garant.ru	14 Янв 2017	Коллекция ГАРАНТ	47	47
[05]	0,87%	0,97%	ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЛИТА ПОКРЫТИ.	http://elibrary.ru	29 Авг 2014	Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU	5	6
[06]	0%	0,87%	не указано	http://ntpo.com	29 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	0	5
[07]	0,01%	0,82%	274332	http://biblioclub.ru	20 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	1	18
[08]	0,59%	0,79%	Колесникова, Мария Александровна ди.	http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Коллекция РГБ	9	12
[09]	0,02%	0,69%	СНиП II-25-80 - печать Строительные...	http://doc01.ru	10 Ноя 2016	Модуль поиска "Интернет Плюс"	2	16
[10]	0,36%	0,59%	1. Как обозначается расчетное сопрот...	http://bib.convdocs.org	01 Янв 2017	Модуль поиска перефразирований Интернет	8	5
[11]	0%	0,58%	СП 64.13330.2011 Деревянные конструк..	не указано	20 Фев 2017	Кольцо вузов	0	13
[12]	0%	0,56%	Синельщиков А.В. Основы научных ис...	не указано	30 Янв 2014	Кольцо вузов	0	5
[13]	0,01%	0,56%	ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЛИТА ПОКРЫТИ.	http://ntpo.com	раньше 2011	Модуль поиска "Интернет Плюс"	2	9
[14]	0%	0,56%	ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЛИТА ПОКРЫТИ.	http://elibrary.ru	29 Авг 2014	Коллекция eLIBRARY.RU	0	9
[15]	0%	0,56%	Пространственная плита покрытия. Па..	http://findpatent.ru	24 Июн 2015	Коллекция Патенты	0	9