

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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные конструкции и управляемые системы  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ С.В. Деордиев  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

## ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

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

Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере  
крытого конькобежного центра  
тема

Руководитель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ доцент, к.т.н.  
должность, ученая степень

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.С. Шаршун  
инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Продолжение титульного листа **дипломной работы** по теме  
Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере  
крытого конькобежного центра

Консультанты по разделам:

Вариантное проектирование

наименование раздела

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.В. Фроловская

инициалы, фамилия

Численно-исследовательская часть

наименование раздела

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.В. Фроловская

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.В. Фроловская

инициалы, фамилия

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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные конструкции и управляемые системы  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ С.В. Деордиев  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ »      \_\_\_\_\_ 2021 г.

### ПЛАН РАБОТЫ

Студентке Шаршун Софье Сергеевне. Группа СС16-11. Направление (профиль) 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Тема выпускной квалификационной работы: Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра.

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_.

Руководитель ВКР: А.В. Фроловская, доцент, канд.тех. наук, СКиУС  
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

ИСИ СФУ.

Наименование раздела	Срок выполнения
Введение. Обзор существующих конструктивных решений спортивных центров. Анализ нормативно-технической документации и методик расчета стального каркаса большепролетных сооружений	25.12.2021
Вариантное проектирование конструктивного решения каркаса крытого конькобежного центра	17.01.2022
Расчет каркаса с консолями на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета	01.02.2022
Расчет каркаса без консолей на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета	14.02.2022
Сопоставление результатов расчета каркаса в двух вариантах. Анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса	07.03.2022
Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас. Расчет каркаса на особые виды на грузок. Анализ влияния особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса	11.04.2022

Разработка конструктивных решений для выбранного каркаса	09.05.2022
Основные выводы по работе	09.06.2022

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

С.С. Шаршун  
инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## РЕФЕРАТ

Дипломная работа по теме «Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра» содержит 135 страниц текстового документа, 32 использованных источника, 15 листов графического материала.

УНИКАЛЬНОЕ ЗДАНИЕ, МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ КАРКАС, БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЕ ЗДАНИЕ, СПОРТИВНЫЙ ЦЕНТР, ОСОБЫЕ НАГРУЗКИ, ТЕХНОГЕННЫЕ НАГРУЗКИ, УДАР, ВЗРЫВ, ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ, ЛОКАЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ, КОНСОЛИ, НДС, УСТОЙЧИВОСТЬ, СВЯЗИ

Объект исследования – металлический каркас крытого конькобежного центра пролетом 104,2 метра.

Цели дипломной работы: исследование влияния наличия консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса большепролетного здания; исследование влияния различных видов особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние, несущую способность и устойчивость каркаса большепролетного здания на примере спортивного центра.

Основные задачи: анализ нормативно-технической документации и существующих методик расчета по теме исследования; обзор существующих конструктивных решений спортивных центров; расчет каркаса здания в 3D-модели с использованием программного комплекса на основные нагрузки; анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса; расчет каркаса здания с использованием программного комплекса SCAD Office на особые нагрузки (прогрессирующее обрушение, удар автотранспортного средства, внутренний взрыв); численные исследования изменения напряженно-деформированного состояния элементов каркаса от особых видов нагрузок техногенного характера; проработка конструктивных решений каркаса здания с учетом выполненных численных исследований.

Проведено вариантное проектирование, на основании которого выбран вариант каркаса для исследования влияния особых видов нагрузок техногенного характера. При этом проведен анализ влияния наличия консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса. Были выполнены расчеты на 3 вида особых нагрузок: прогрессирующее обрушение, удар автотранспортного средства, взрыв. Проведены численные исследования изменения напряженно-деформированного состояния элементов каркаса от особых нагрузок техногенного характера. Были разработаны конструктивные решения, устойчивые к особым нагрузкам.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
Глава 1 Требования и конструктивные решения при проектировании большепролетных спортивных центров .....	10
1.1 Обзор существующих конструктивных решений спортивных центров ...	10
1.2 Анализ нормативно-технической документации и методик расчета стального каркаса большепролетных сооружений.....	13
1.3 Выводы по главе .....	14
Глава 2 Численные исследования несущих элементов каркаса крытого конькобежного центра с консолями и без на основные виды нагрузок.....	15
2.1 Вариантное проектирование конструктивного решения каркаса крытого конькобежного центра .....	15
2.1.1 Описание вариантов каркаса с консолями и без. Компоновка каркаса в двух вариантах.....	15
2.1.2 Сбор нагрузок на каркас в двух вариантах с консолями и без.....	20
2.1.3 Приложение нагрузок.....	34
2.2 Расчет каркаса с консолями на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета .....	44
2.2.1 Задание комбинаций нагрузок и РСУ.....	44
2.2.2 Подбор сечений .....	45
2.2.3 Анализ напряженно-деформированного состояния каркаса.....	48
2.3 Расчет каркаса без консолей на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета .....	50
2.3.1 Задание комбинаций нагрузок и РСУ.....	50
2.3.2 Проверка подобранных сечений .....	50
2.3.3 Анализ напряженно-деформированного состояния каркаса.....	51
2.4 Расчет двух вариантов каркаса на основные нагрузки без учета снеговых и ветровых нагрузок .....	54
2.5 Сопоставление результатов расчета каркаса в двух вариантах. Анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса. Техничко-экономическое обоснование вариантов каркаса.....	57

					ДР-08.05.01 ПЗ			
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата				
Разраб.		Шаршун С.С.			Пояснительная записка	Стадия	Лист	Листов
						У	6	135
Руководитель		Фроловская А.В.				СКиУС		
Н. контр.		Фроловская А.В.						
Зав. каф.		Деордиев С.В.						

2.6 Выводы по главе .....	67
Глава 3 Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас .....	68
3.1 Техногенные нагрузки. Виды. Учет техногенных нагрузок при расчете каркаса большепролетного здания .....	68
3.2 Расчет каркаса на прогрессирующее обрушение. Анализ результатов расчета.....	69
3.3 Расчет каркаса на удар автотранспортного средства. Анализ результатов расчета.....	81
3.4 Расчет каркаса на внутренний взрыв. Анализ результатов расчета .....	88
3.5 Анализ влияния особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса .....	91
3.6 Разработка конструктивных решений элементов каркаса здания .....	92
3.6.1 Ручной расчет решетчатой стойки.....	92
3.6.2 Ручной расчет фермы .....	102
3.6.3 Ручной расчет колонны-связи.....	119
3.6.4 Расчет и конструирование опорного узла фермы.....	125
3.7 Выводы по главе .....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	133
Список использованных источников .....	134

					ДР-08.05.01 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

## ВВЕДЕНИЕ

В действующей научно-технической документации при проектировании уникального здания указано о необходимости выполнения расчета каркаса на воздействие особых видов нагрузок. Каждое уникальное здание индивидуально, благодаря своей форме, высотности и особенностям конструктивного решения несущего каркаса и ограждающих конструкций. В тоже время конструктивные решения уникальных зданий основаны на базовых, фундаментальных исследованиях строительной механики, расчета и конструирования конструкций.

Актуальность темы дипломной работы обоснована численными исследованиями влияния особых видов нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние несущих элементов каркаса. За объект исследования принято уникальное здание пролетом 104,2 метра с двумя консольными вылетами по обе стороны каркаса. Пролет перекрывается металлическими фермами, которые опираются на решетчатые стойки, и Y-образные связи-колонны. Анализируя напряженно-деформированное состояние элементов каркаса, можно будет сделать вывод об устойчивости принятых конструктивных решений к особым видам нагрузок.

Особые виды нагрузок техногенного характера учитывают только при проектировании и конструировании элементов уникальных зданий, так как при его обрушении, или обрушении части здания, наносится значительный урон не только экономике региона, но и возможны человеческие жертвы. При анализе аварий и катастроф уникальных зданий статистика показывает, что существуют два основных фактора, приводящие к обрушениям: терроризм и человеческий фактор на этапах проектирования, изготовления конструкций, возведения здания и его эксплуатации.

Для исключения негативных событий, уменьшения ущерба в результате чрезвычайных происшествий, необходимо выработать обоснованные конструктивные решения, устойчивые к воздействиям особых нагрузок техногенного характера. Данный вопрос планируется изучить в рамках дипломной работы на примере конкретного здания.

В рамках выполнения дипломной работы планируется проанализировать влияние различных видов особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние, несущую способность элементов, устойчивость и жесткость каркаса уникального здания. Для данного анализа в рамках работы будут выполнены численные исследования напряженно-деформированного состояния элементов каркаса здания на основные виды нагрузок (собственный вес конструкций, снеговые и ветровые воздействия) и особые виды нагрузок техногенного характера.

Также планируется выполнить исследование по анализу влияния консолей в поперечных рамах каркаса здания. В настоящее время в технической документации нет точной информации о том, как влияют консоли на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса при данном



конструктивном решении. Также нет информации о том, влияют ли консоли на восприятие элементами каркаса особых видов нагрузок.

В выпускной квалификационной работе проработаны следующие разделы:

- анализ нормативно-технической документации и существующих методик расчета по теме исследования;
- обзор существующих конструктивных решений спортивных центров;
- расчет каркаса здания в 3D-модели с использованием программного комплекса на основные нагрузки;
- анализ влияния консолей на НДС элементов каркаса;
- численные исследования изменения напряженно-деформированного состояния элементов каркаса от особых видов нагрузок техногенного характера;
- проработка конструктивных решений каркаса здания с учетом выполненных численных исследований.

В результате выполнения работы разработаны конструктивные решения, устойчивые к особым нагрузкам техногенного характера на основе выполненных численных исследований, а также выполнен анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса.

# Глава 1 Требования и конструктивные решения при проектировании большепролетных спортивных центров

## 1.1 Обзор существующих конструктивных решений спортивных центров

Крытые спортивные центры являются многофункциональными: они могут быть использованы и для ряда спортивных событий, и для проведения других различных мероприятий. В основном, в спортивных центрах, в связи с габаритами спортивных арен, ледовых площадок и т.д., исключается наличие несущих опор внутри сооружения.

Нормативными документами [1] установлены требования по размерам спортивных зон и высотам помещений до низа выступающих конструкций в зависимости от вида спорта. Именно поэтому для покрытий спортивных центров используются большепролетные конструкции: несущие элементы типа ферм, балок и рам, а также пространственные покрытия в виде складок, оболочек, куполов, перекрестных и висячих систем.

В России большепролетные спортивные сооружения построены в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Сочи [2]. Примерами самых популярных спортивных сооружений могут послужить: спортивный комплекс «Крылатское» в г. Москва (Рисунок 1), «Казань-Арена» в г. Казань (Рисунок 2), Ледовый Дворец «Большой» и стадион «Фишт», а также другие спортивные сооружения, построенные к Олимпиаде-2014 в г. Сочи (Рисунок 3).



Рисунок 1 – спортивный комплекс «Крылатское» в г. Москва



Рисунок 2 – «Казань-Арена» в г. Казань



Рисунок 3 – Спортивные сооружения в г. Сочи

Особое внимание бы хотелось уделить крытому конькобежному центру «Адлер-Арена» (Рисунок 4,5) в г. Сочи. Этот уникальный спортивный объект был построен к Олимпиаде Сочи 2014 для проведения соревнований по конькобежному спорту.

В настоящее время сооружение используется как выставочный центр. Здание разделено на три блока – большепролетный центральный блок (104,2 м) и два монтажных блока.

Основной пролет перекрыт металлическими фермами, опирающимися на решетчатые стойки и связи-колонны.



Рисунок 4 – Каркас «Адлер-Арены»

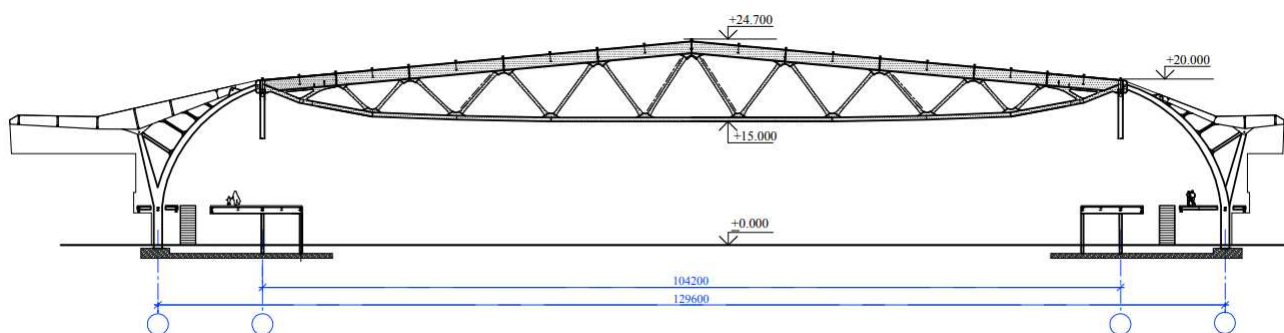


Рисунок 5 – Разрез здания «Адлер-Арена»

Здание обладает уникальным двадцатиметровым консольным навесом (Рисунок 6), благодаря которому солнечные лучи не попадают на арену. В тоже время консольные вылеты придают спортивному сооружению выразительную архитектурную форму.

Согласно Градостроительному кодексу [3], здание является уникальным при соблюдении одного из четырех требований: высота более 100 м, величина пролета более 100 м, вылет консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 15 м. Поэтому, крытый конькобежный центр в г. Сочи можно отнести к уникальному сооружению по двум критериям: пролет (104,2 м) и наличие консолей (вылет 20 м).



Рисунок 6 – Консольный вылет «Адлер-Арены»

## **1.2 Анализ нормативно-технической документации и методик расчета стального каркаса большепролетных сооружений**

Не всегда в действующих нормативных документах и учебной литературе удается найти подходящую информацию о расчетах элементов каркаса уникальных зданий. Каждое такое здание имеет индивидуальные конструктивные, архитектурные и объемно-планировочные решения.

В нормативной документации [4] нет сведений о учете нагрузки на консольные вылеты. В тоже время, в статье [5] нагрузка на консольные вылеты уникального здания технического музея собиралась по схеме навеса. Поэтому, делается вывод о том, что нагрузку на пролет можно приложить как для двускатного покрытия (Рисунок 15), а нагрузку на консоль собрать отдельно. Действительно, рациональнее всего будет задать нагрузку на консольный вылет по схеме навеса. Ведь навес очень схож по конструктивной схеме с консольным вылетом.

В нормах [3] предлагается два варианта приложения снеговой нагрузки на навес в зависимости от характера снегоотложений, и четыре типа навеса для приложения ветровой нагрузки (см. п.2.1.2).

При этом в документе предоставлена информация только о характере нагрузки при действии ветра в одном направлении, а о том, как влияет ветровая нагрузка на навес при его действии в перпендикулярном указанному направлению нормативно неизвестно.

Сбор нагрузок для двух варианта каркаса (с консолями и без) представлен в п.2.1.2.

### 1.3 Выводы по главе

За объект исследования работы мною принят каркас здания крытого конькобежного центра. При создании расчетной схемы будут использоваться принятые размеры и конструктивные решения уже существующего здания: пролет, размеры в осях, высота до низа несущих конструкций покрытия, а также тип и размеры решетки фермы.

По мере создания расчетной модели и анализа устойчивости системы в целом в каркас были введены вертикальные связевые фермы, связи по опорным частям решетчатых стоек, а также связи по консольным вылетам.

На сегодняшний день пространственные схемы каркасов большепролетных зданий рассчитывают с помощью программных комплексов, в которых определяется НДС элементов конструкций, производится подбор сечений элементов, вычисляется величина прогибов и узнаются другие необходимые параметры для элементов каркаса. Для расчета пространственного каркаса выбранного объекта будет использован ПК SCAD.

## **Глава 2 Численные исследования несущих элементов каркаса крытого конькобежного центра с консолями и без на основные виды нагрузок**

### **2.1 Вариантное проектирование конструктивного решения каркаса крытого конькобежного центра**

#### **2.1.1 Описание вариантов каркаса с консолями и без. Компонировка каркаса в двух вариантах**

Здание крытого конькобежного центра прямоугольной формы в плане. Размеры здания в осях А-Г составляют 129,6 м, в осях 1-10 – 248,6 м. Расстояние до низа несущих конструкций покрытия 14,690 м.

Основной пролет перекрыт фермами пролетом 104,2 м с шагом 27 м, опирающиеся на решетчатые стойки, увенчанные консолью длиной 15,12 м. В тоже время фермы опираются на Y-образные стойки, выполняющие функции колонн и связей (Рисунок 7).

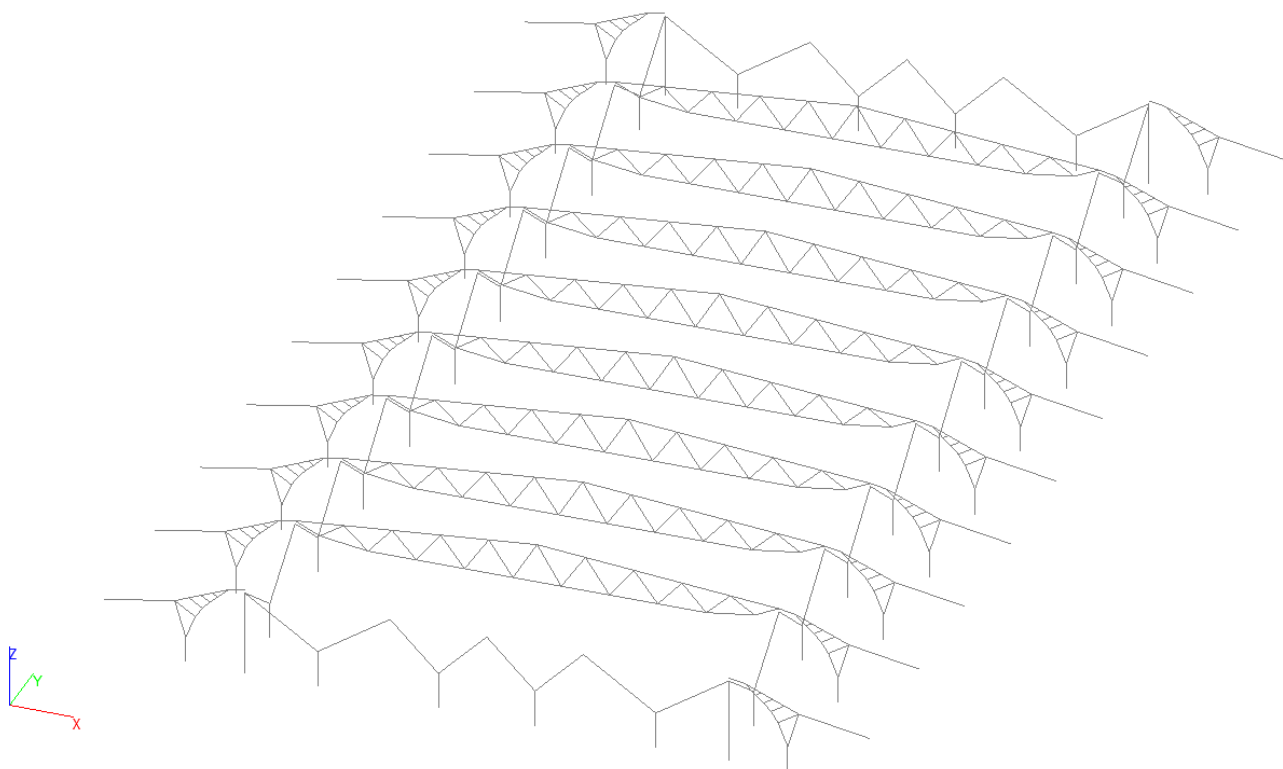


Рисунок 7 – Фрагмент основных несущих элементов каркаса

По фермам и консольному вылету укладываются решетчатые прогоны в виде раскосных ферм (Рисунок 8). Шаг решетчатых прогонов по ферме равен 5,2 м, шаг решетчатых прогонов по консоли – различный. Для устройства покрытия в виде мембранной кровли предусматривается контр-обрешетка со вторым ярусом прогонов (Рисунок 9).

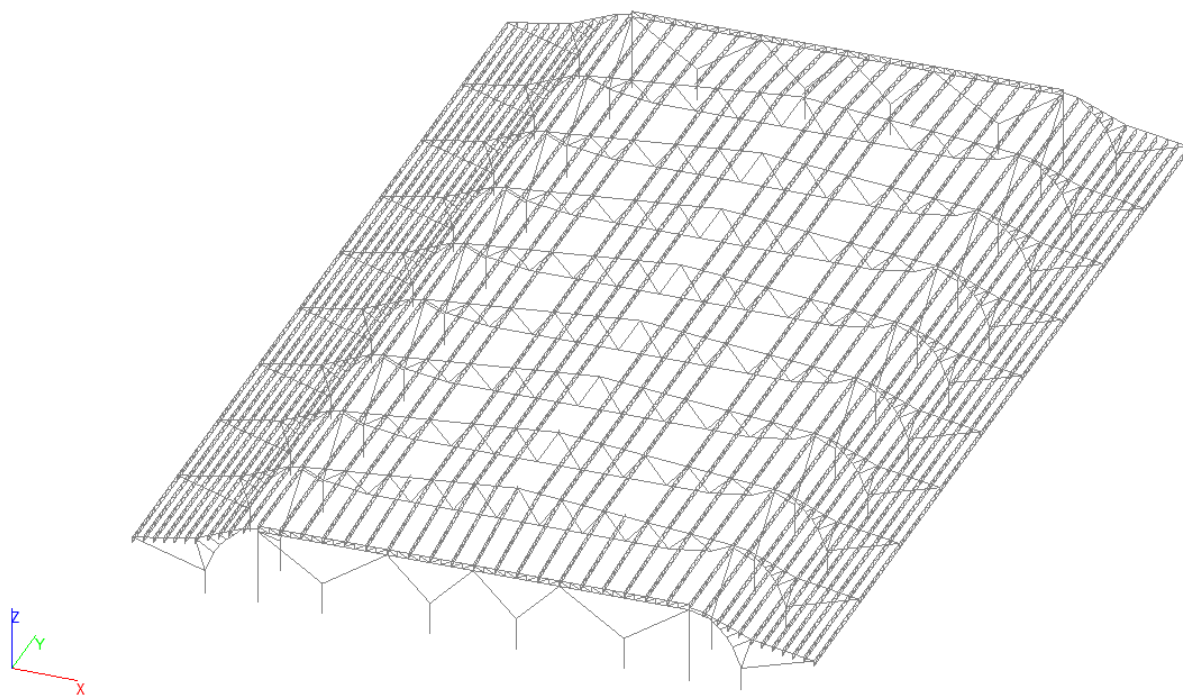


Рисунок 8 – Фрагмент основных несущих элементов каркаса с решетчатыми прогонами

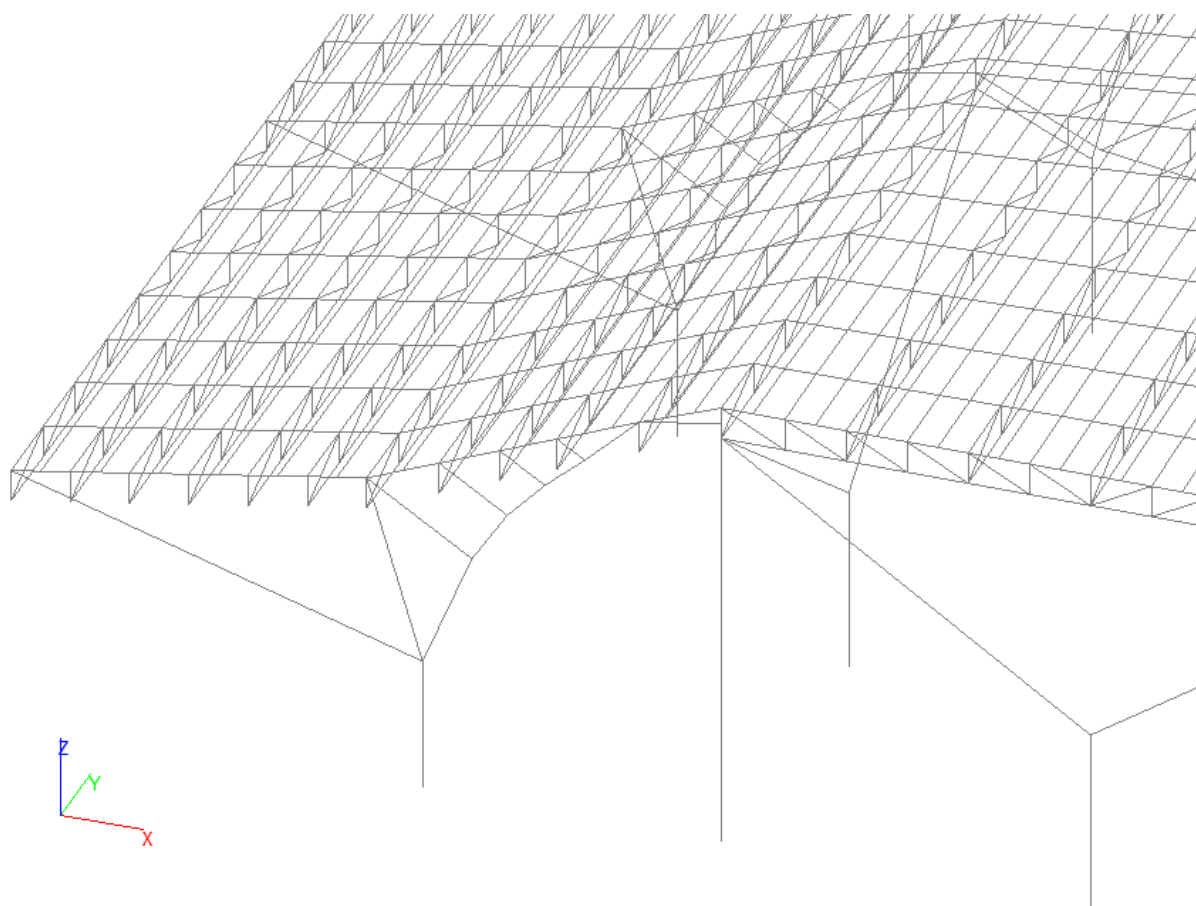


Рисунок 8 – Фрагмент расчетной модели с обрешеткой из 2 яруса прогонов



Устойчивость ферм обеспечивается системой горизонтальных связей в уровне покрытия и системой вертикальных связей в межферменном пространстве (Рисунок 9). В местах введения вертикальных связевых ферм решетчатые прогоны отсутствуют, вертикальные связевые фермы устраиваются по высоте прогонов-ферм.

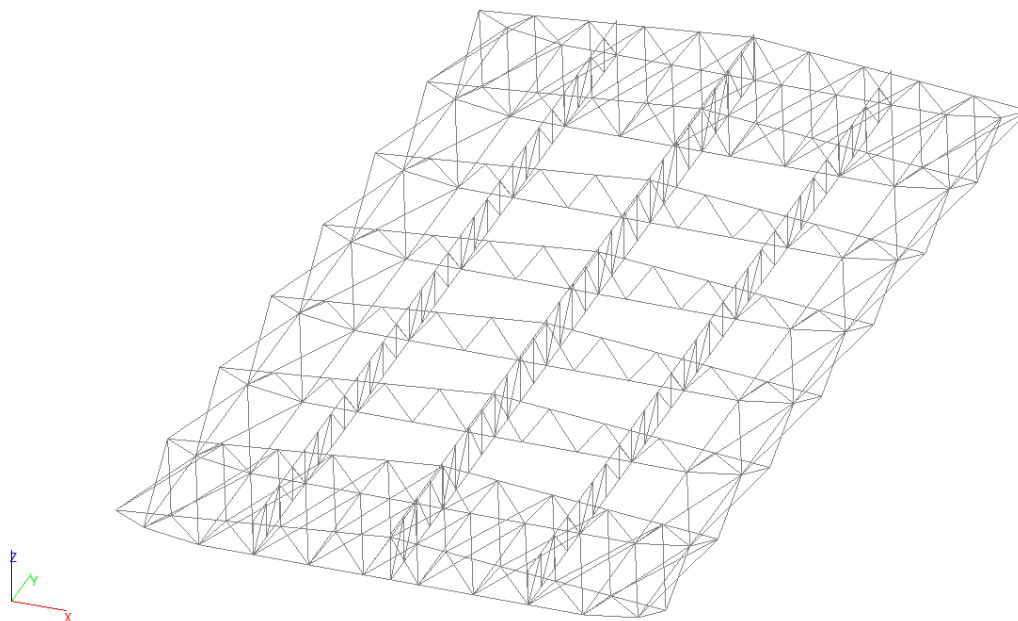


Рисунок 9 – Фрагмент расчетной модели (фермы и система вертикальных и горизонтальных связей)

Колонны (решетчатые стойки) жестко защемлены в фундаменте. По решетчатым стойкам и консольному вылету устанавливаются крестовые связи (Рисунок 10,11).

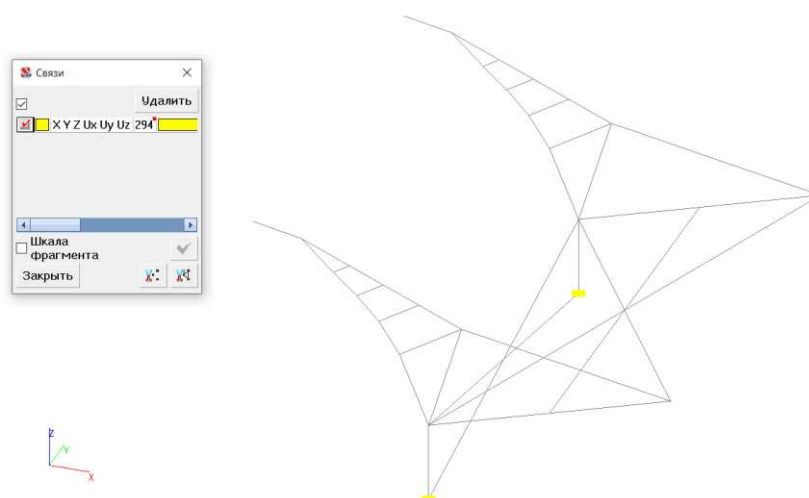


Рисунок 10 – Фрагмент расчетной модели (решетчатая стойка с консолью и крестовые связи)

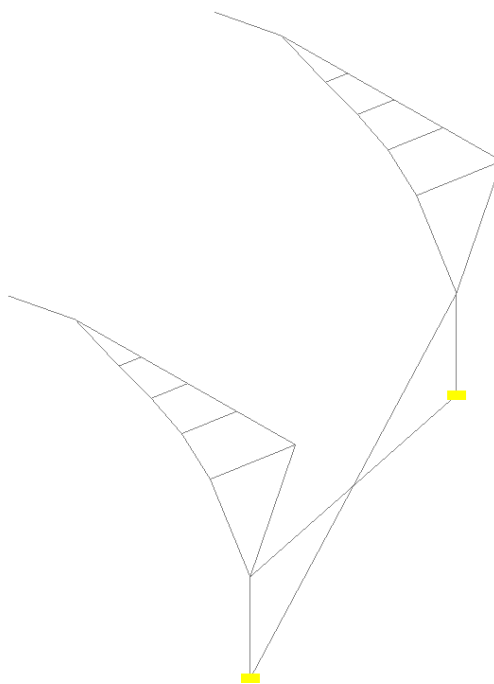
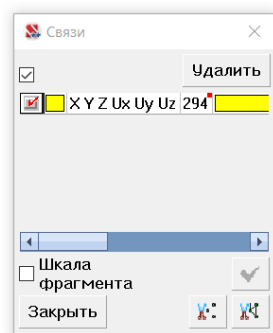


Рисунок 11 – Фрагмент расчетной модели (решетчатая стойка без консоли и крестовые связи)

Для крепления стеновых панелей и восприятия ветровой нагрузки предусмотрены фахверковые колонны (Рисунок 12). Шаг колонн фахверка-различный, для обслуживания ледовой площадки с любой стороны здания можно предусмотреть въезд для грузовой техники.

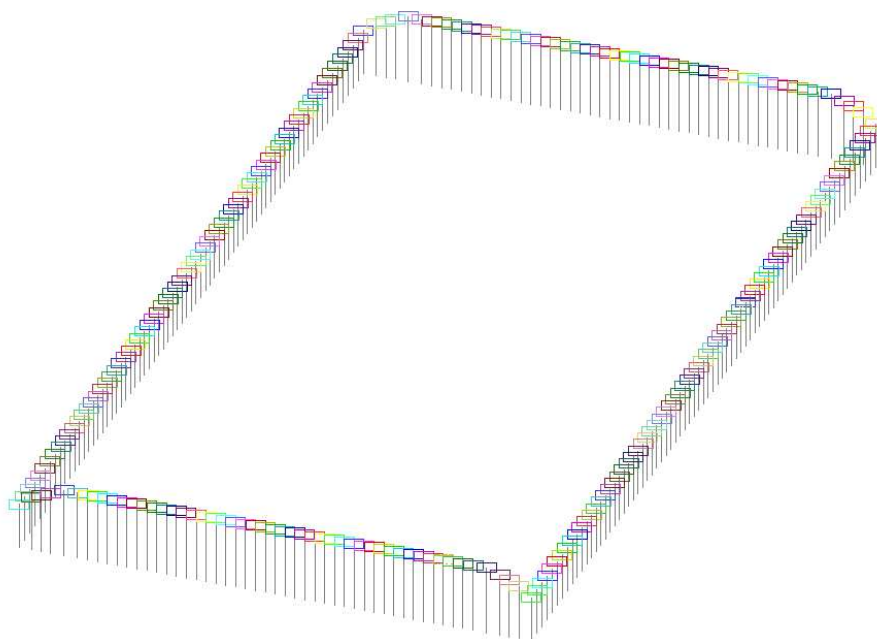


Рисунок 12 – Фрагмент расчетной модели (элементы фахверка)

Во втором варианте каркаса отсутствуют консольные вылеты по двум сторонам здания. В остальном конструктивное решение безконсольного варианта каркаса идентично первому, за исключением наличия консоли и связей по ним.

Расчетные модели двух вариантов каркаса приведены на рисунках 13-14.

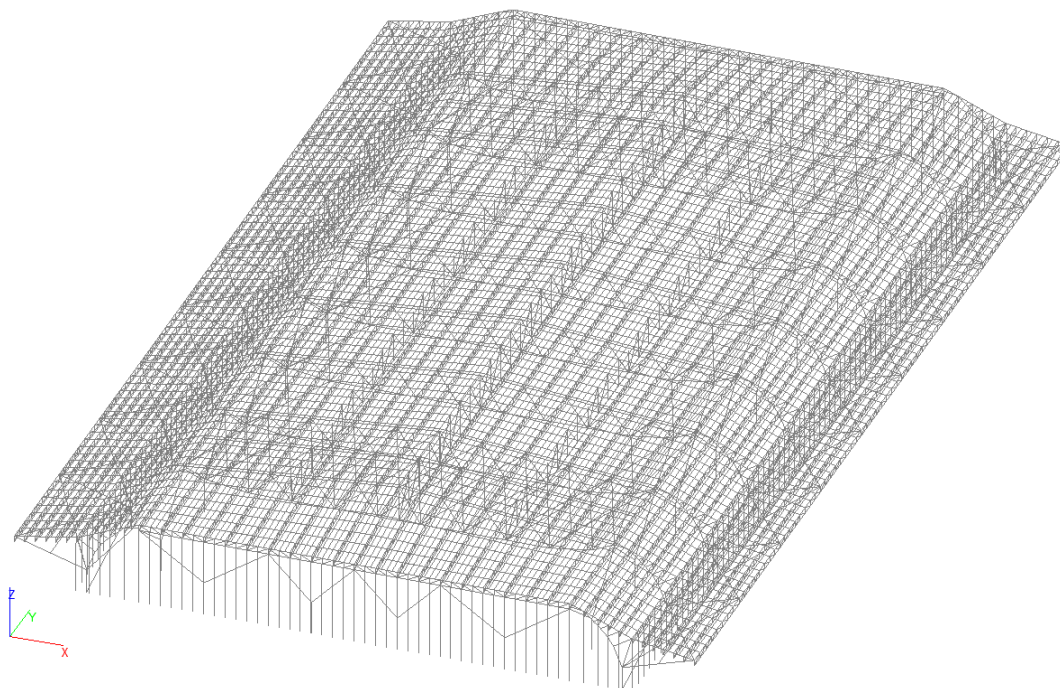


Рисунок 13 – Расчетная модель варианта каркаса с консолями

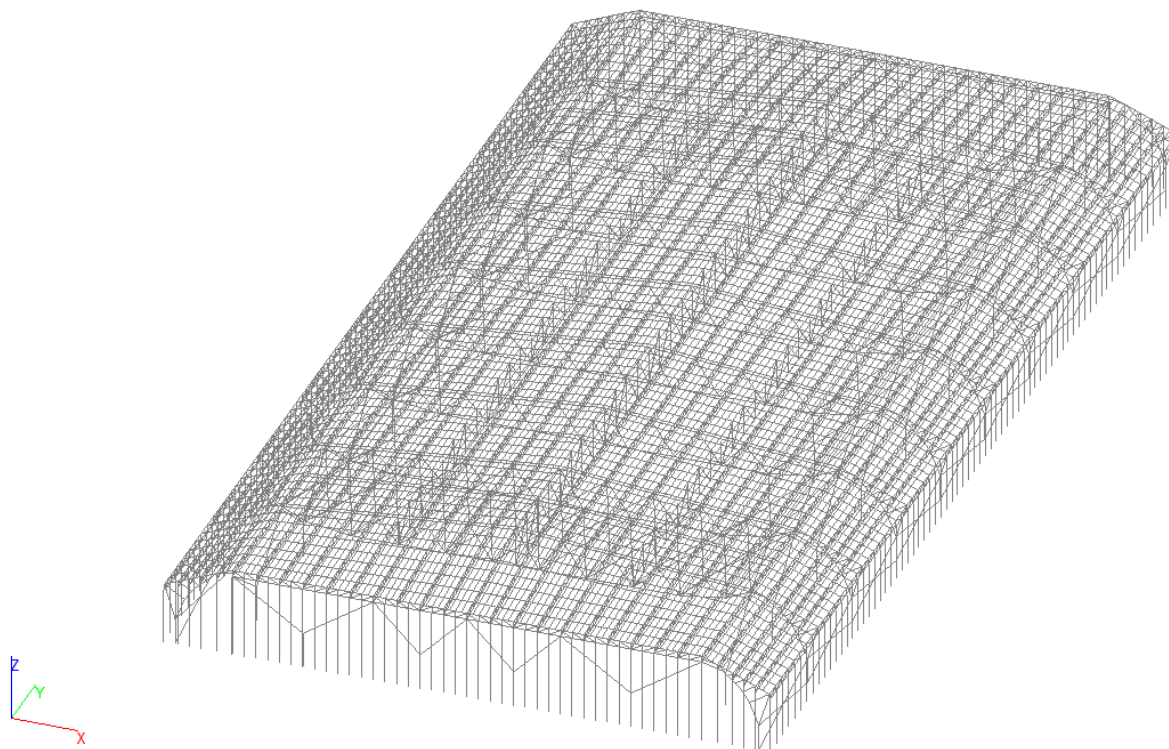


Рисунок 14 – Расчетная модель варианта каркаса без консолей

## 2.1.2 Сбор нагрузок на каркас в двух вариантах с консолями и без

### Собственный вес

Собственный вес учитывается в программе SCAD автоматически.

### Нагрузка на фахверк от стеновых панелей

Для того, чтобы рассчитать нагрузку на колонны фахверка от стеновых панелей, необходимо узнать требуемую толщину утеплителя. Для этого, произведем теплотехнический расчет в соответствии с [6].

Градусо-сутки отопительного периода определяются по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (2.1)$$

где  $t_{\text{от}}, z_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по [7] для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

$t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая по [8].

Определим градусо-сутки отопительного периода по формуле (2.1).

$$\text{ГСОП} = (22 - 6,6) \cdot 93 = 1432,2 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}.$$

Требуемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций используя [6, табл. 3] в зависимости от вида здания или сооружения определяется по формуле

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2.2)$$

где ГСОП – то же, что в формуле (2.1).

$a, b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать в соответствии с [6, табл.3].

Определим требуемое значение сопротивления теплопередачи по формуле (2.2)

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0003 \cdot 1432,2 + 1,2 = 1,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определяется по формуле

$$R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}} \cdot m_p; \quad (2.3)$$

где  $R_{0\text{тр}}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ ;

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимается равным 1.

Рассчитаем по формуле (2.3) нормируемое значение сопротивления теплопередаче

$$R_0^{\text{норм}} = 1,63 \cdot 1 = 1,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Стеновые сэндвич-панели используем согласно проекту по каталогу компании «Металлпром». Выбираем стеновую сэндвич-панель с утеплителем из минеральной ваты. Сопротивление теплопередачи при толщине 80 мм составляет  $R=1,67 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Согласно техническим характеристикам нагрузка от веса стеновой сэндвич-панели толщиной 80 мм на минераловатном утеплителе составляет  $0,198 \text{ кН/м}^2$ .

### **Нагрузка на кровлю от покрытия**

В качестве покрытия принята мембранная кровля. Нагрузка от веса мембранной кровли принята условно и равна  $P=0,2 \text{ кН/м}^2$ .

### **Снеговая нагрузка**

Снеговые нагрузки рассчитаны согласно [4, п. 10]. При этом согласно [4, Б.2] были учтены две возможные схемы загрузки покрытия. Здание располагается во II снеговом районе (г. Сочи)  $S_g=1 \text{ кН/м}^2$ .

Нормативное значение снеговой нагрузки определяется по формуле

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t, \quad (2.4)$$

где  $S_g$  – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м горизонтальной поверхности земли [4, табл. 10.1];

$\mu$  – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие; [4, прил. Б.2]. Коэффициент  $\mu=1$ , т.к. уклон покрытия  $\alpha < 30^\circ$ ;

$c_e=1$  – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов [4, п.10.6];

$c_t=1$  – термический коэффициент [4, п.10.10];

Нагрузка, прикладываемая к прогонам, определяется по формуле

$$q = S_0 \cdot B, \quad (2.5)$$

где  $S_0$  – то же, что в формуле (2.4);

$B$  – шаг прогонов.

## Вариант 1

Рассчитаем нормативное значение снеговой нагрузки для 1 варианта (Рисунок 15) по формуле (2.4)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ кН} / \text{м}^2,$$

Снеговую нагрузку прикладываем к прогонам. Основной шаг прогонов  $B=1,3$  метра.

Определим нагрузку на прогоны по формуле (2.5)

$$q = S_0 \cdot B = 1 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ кН} / \text{м}.$$

Нагрузка, приложенная к прогонам с другим шагом, рассчитывается аналогично.

## Вариант 2

Рассчитаем нормативное значение снеговой нагрузки для 2 варианта (Рисунок 15) по формуле (2.4)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

Определим нагрузку на прогоны по формуле (2.5)

$$q = S_0 \cdot B = 0,75 \cdot 1,3 = 0,98 \text{ кН} / \text{м}.$$

Рассчитаем нормативное значение снеговой нагрузки для 2 варианта (Рисунок 15) по формуле (2.4)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 = 1,25 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

Определим нагрузку на прогоны по формуле (2.5)

$$q = S_0 \cdot B = 1,25 \cdot 1,3 = 1,63 \text{ кН} / \text{м}.$$

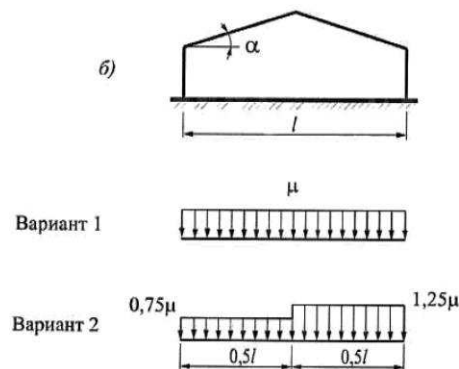


Рисунок 15 – Значение коэффициента  $\mu$

## Снеговая нагрузка на консоль

Для консоли снеговая нагрузка рассчитывается как для навеса (Рисунок 16).

Коэффициент  $\mu$  следует находить по формуле

$$\mu = 1 + \frac{1}{h}(m_1 l'_1 + m_2 l'_2) \quad (2.6)$$

где  $h$  - высота перепада, м, отсчитываемая от верхней точки конструкций более высокой части здания у перепада высот до кровли нижнего покрытия.

$l'_1$ ;  $l'_2$  - длины участков верхнего ( $l'_1$ ) и нижнего ( $l'_2$ ) покрытия, с которых переносится снег в зону перепада высоты, м, их следует принимать:

- для покрытия без продольных фонарей или с поперечными фонарями  $l'_1 = l_1$ ;  $l'_2 = l_2$ .

$m_1$ ;  $m_2$  - доли снега, переносимого ветром к перепаду высоты; их значения для верхнего  $m_1$  и нижнего  $m_2$  покрытий следует принимать в зависимости от их профиля ( $0,4$  - для плоского покрытия с  $\alpha \leq 20^\circ$ ).

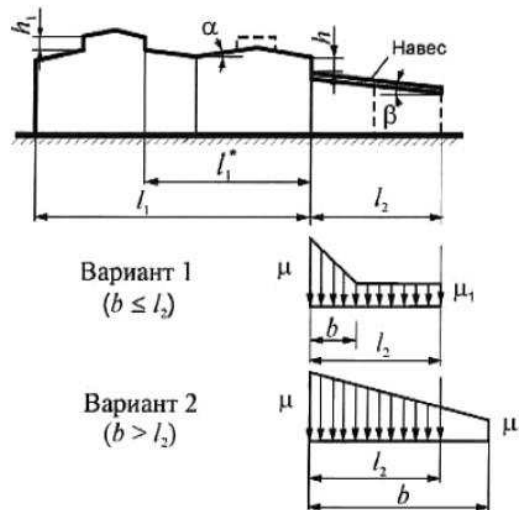


Рисунок 16 – Значение коэффициента  $\mu$

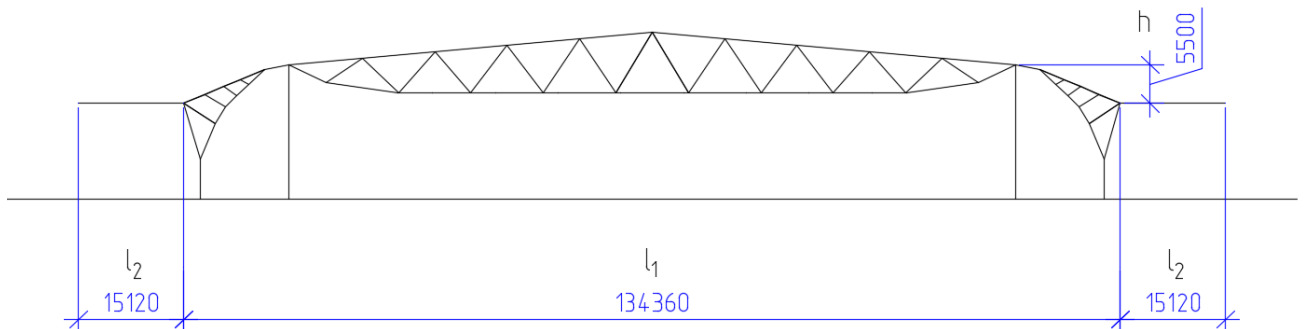


Рисунок 17 – Длины участков покрытия каркаса

Длину участка  $l'_2$  переноса по нижнему покрытию, не имеющему парапетов, следует принимать не более утроенной его ширины.

Длины участков покрытия каркаса приведены на рисунке 17.

Определим коэффициент  $\mu$  по формуле (2.6)

$$\mu = 1 + \frac{1}{h}(m_1 l'_1 + m_2 l'_2) = 1 + \frac{1}{5,5}(0,4 \cdot 134,36 + 0,4 \cdot 15,12) = 11,8.$$

Т.к  $l'_1 > 72$  м., принимаем  $\mu = 6$ .

Длину зоны повышенных снегоотложений  $b$  следует принимать равной при  $\mu = 6 \leq \frac{2h}{S_0} = 1 \rightarrow b = 2h = 11$  м, но не более 16 м;

Коэффициенты  $\mu$ , принимаемые для расчетов (показанные на схемах для трех вариантов), не должны превышать:

$$\frac{2h}{S_0} = \frac{2 \cdot 5,5}{1} = 11;$$

4 - если нижнее покрытие является покрытием здания, а  $l'_1$  и  $l'_2 \leq 48$  м;

6 - если нижнее покрытие является навесом или покрытием здания и  $l'_1$  или  $l'_2 > 72$  м.

Коэффициент  $\mu_1$  следует принимать:

$$\mu_1 = 1 - 2m_2 \text{ для покрытий с парапетами и без парапетов при } b \geq l'_2;$$

$$\mu_1 = 1 - 2m_2 \text{ для покрытий без парапетов при } \mu \leq \frac{2h}{S_0};$$

$$\mu_1 = 1 - \frac{m_2 l'_2}{l'_2 - h} \text{ при } l'_2 > b \text{ и при } \mu \leq \frac{2h}{S_0} \text{ - для покрытия с парапетами;}$$

$$\mu_1 = \frac{l'_2 - 0,5\mu b}{l'_2 - 0,5b} \text{ - в остальных случаях, но не менее } 0,2.$$

$$\text{Т.к. } l'_2 = 15,12 \text{ м} > b = 11 \text{ м и } \mu = 6 < \frac{2h}{S_0} = 11.$$

$$\mu_1 = 1 - \frac{m_2 l'_2}{l'_2 - h} = 1 - \frac{0,4 \cdot 15,12}{15,12 - 5,5} = 0,37.$$

Определим нормативное значение снеговой нагрузки при  $\mu = 6$  и  $\mu_1 = 0,37$  по формуле (2.4)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1 = 6 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

$$S_0 = S_g \cdot \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t = 1 \cdot 0,37 \cdot 1 \cdot 1 = 0,37 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

Промежуточные значения находятся линейной интерполяцией. Нагрузка, прикладываемая к прогонам, определяется по формуле (2.5).



## Ветровая нагрузка

Ветровые нагрузки, действующие на покрытие, были так же учтены согласно [4, п. 11]. Здание располагается в IV ветровом районе ( $w_0 = 0,48 \text{ кПа}$ ).

Нормативное значение ветрового давления находится по формуле

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c, \quad (2.7)$$

где  $w_0$  – нормативное значение ветрового давления [4, табл. 11.1];

$k$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $z_e$  [4, п.11.1.5]; При  $h \leq d$  эквивалентная высота  $z_e = h = 24,7 \text{ м}$ . Где  $d$  – поперечный размер здания,  $h$  – высота здания.

Коэффициент  $k = 0,91$  для типа местности В и высоты  $z_e = 24,7 \text{ м}$ .

$c$  – аэродинамический коэффициент [4, прил. В.1.2].

## Ветровая нагрузка на стены

Схема приложения нагрузки на боковые стены здания для различных участков приведена на рисунке 18.

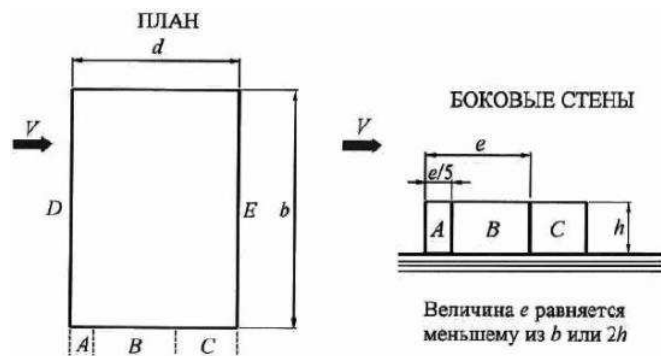


Рисунок 18 – Схема приложения ветровой нагрузки на стены

Найдем нормативное значение ветрового давления для различных участков по формуле (2.7)

$$A- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,48 \cdot 0,91 \cdot (-1,0) = -0,44 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,48 \cdot 0,91 \cdot (-0,8) = -0,35 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,48 \cdot 0,91 \cdot (-0,5) = -0,22 \text{ кПа.}$$

$$D- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,48 \cdot 0,91 \cdot 0,8 = 0,35 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,48 \cdot 0,91 \cdot 0,8 = 0,22 \text{ кПа.}$$

Ветровую нагрузку прикладываем к фахверку, шаг фахверковых колонн  $B$  различный. Нагрузка на стойки определяется по формуле

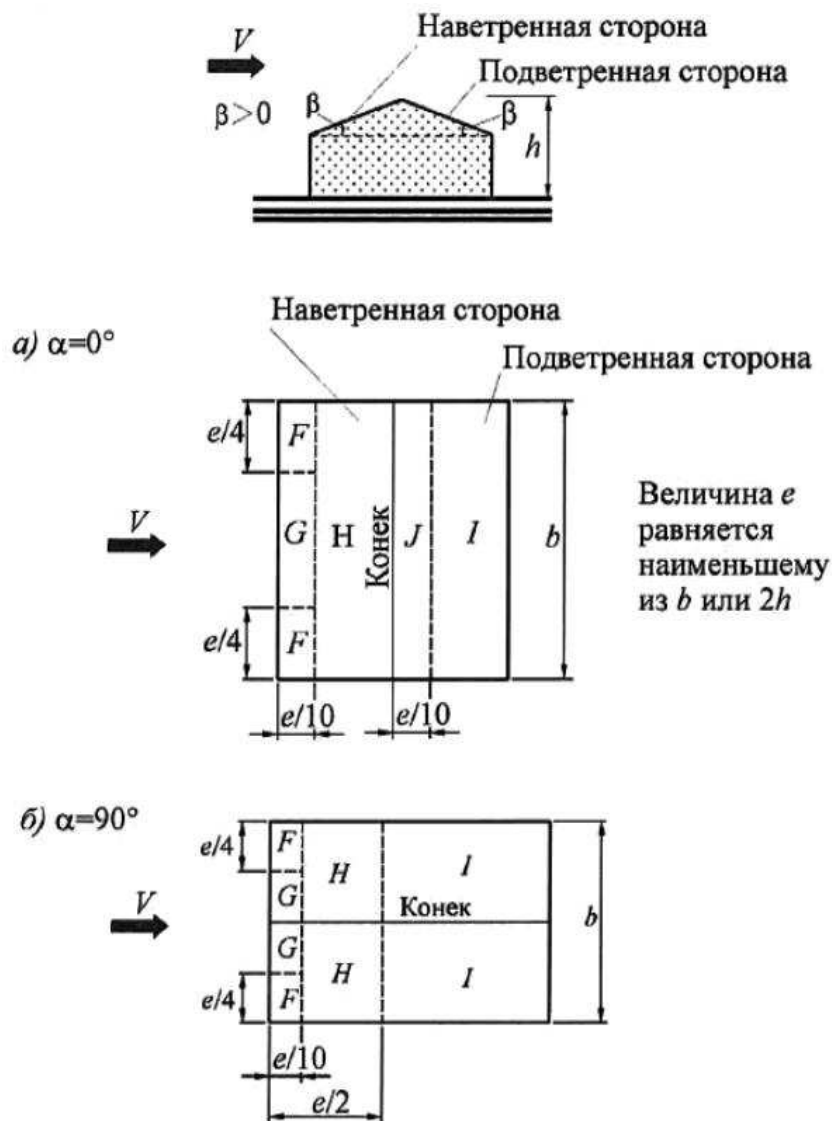
$$q = w_0 \cdot B, \tag{2.8}$$

где  $w_0$  – то же, что в формуле (2.7);

$B$  – шаг колонн фахверка, м.

### Ветровая нагрузка на покрытие

Ветровая нагрузка на покрытие для двух вариантов каркаса собирается аналогично, за исключением учета ветровой нагрузки на консоль как для навеса. Схема приложения ветровой нагрузки для различных участков покрытия приведена на рисунке 19.



## Рисунок 19 – Сбор ветровой нагрузки на покрытие

Коэффициент  $c$  для различных участков покрытия в зависимости от направления средней скорости ветра при  $\alpha=0^\circ$  приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Аэродинамический коэффициент при  $\alpha=0^\circ$

Уклон $\beta$	F	G	H	I	J
5°	-1,5	-1,13	-0,57	-0,47	-0,67
23°	-0,7	-0,64	-0,25	-0,45	-0,5

Нормативное значение ветрового давления для различных участков покрытия при  $\alpha=0^\circ$  приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Нормативное значение ветрового давления при  $\alpha=0^\circ$

	$w_m = w_0 \cdot k \cdot c$				
Уклон $\beta$	F	G	H	I	J
5°	-0,66	-0,49	-0,25	-0,21	-0,29
23°	-0,31	-0,28	-0,11	-0,2	-0,22

Коэффициент  $c$  для различных участков покрытия в зависимости от направления средней скорости ветра при  $\alpha=90^\circ$  приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Аэродинамический коэффициент при  $\alpha=90^\circ$

Уклон $\beta$	F	G	H	I
5°	-1,63	-1,3	-0,67	-0,5
10°	-1,47	-1,3	-0,63	-0,5
23°	-1,2	-1,35	-0,71	-0,5

Нормативное значение ветрового давления для различных участков покрытия при  $\alpha=90^\circ$  приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Нормативное значение ветрового давления при  $\alpha=90^\circ$

	$w_m = w_0 \cdot k \cdot c$			
Уклон $\beta$	F	G	H	I
5°	-0,71	-0,57	-0,29	-0,22
10°	-0,64	-0,57	-0,28	-0,22
23°	-0,52	-0,59	-0,31	-0,22

### Ветровая нагрузка на консоль

Для участка стойки с углом 23° и консоль аэродинамический коэффициент рассчитываем, как для навеса при направлении ветра по X.

С наветренной стороны принимаем для консоли схему III, с заветренной – IV (Рисунок 20).

Так как в схеме навеса имеются участки с различными углами, принимаем по усредненному  $\alpha=16^\circ$  (Рисунок 21).

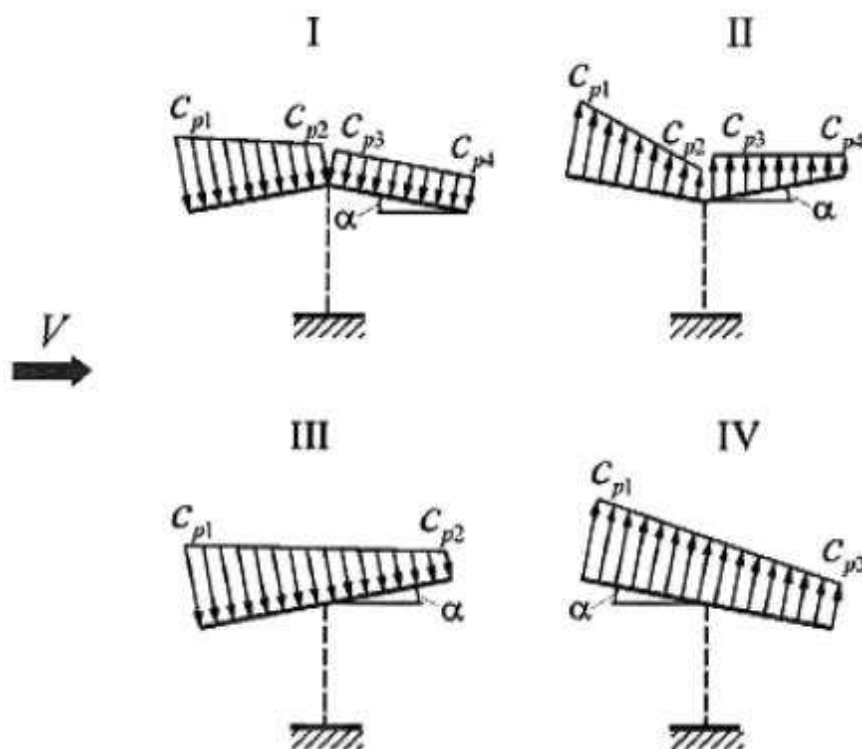


Рисунок 20 – Схемы для различных типов навесов

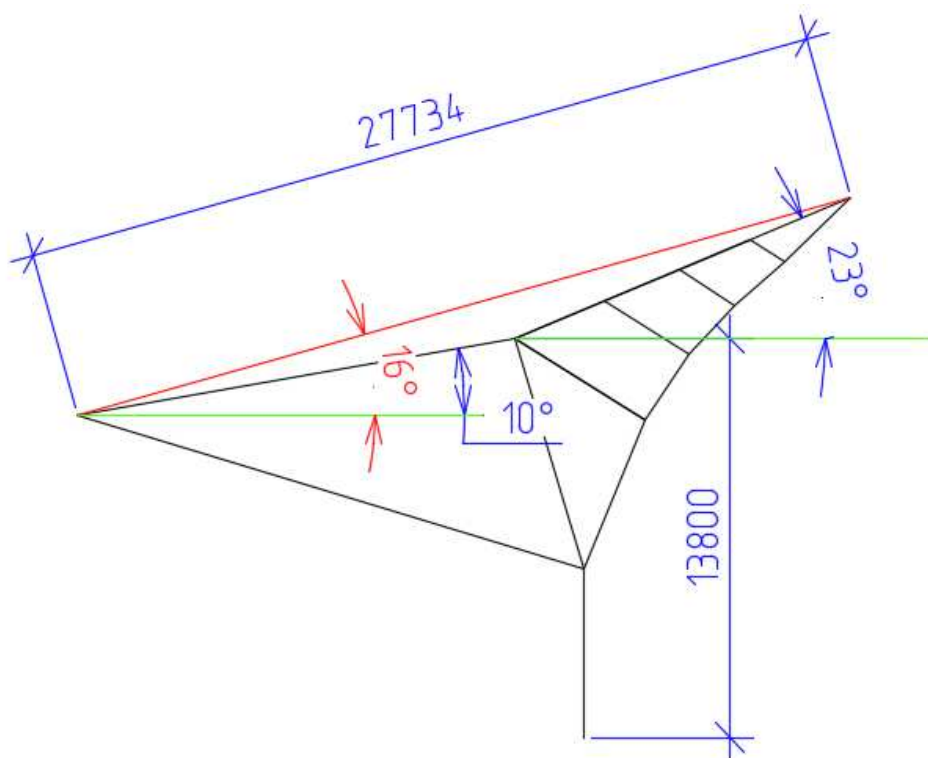


Рисунок 21 – Схема консоли

Ветровую нагрузку на консоль с наветренной и заветренной стороны рассчитываем в программе ВеСТ (Рисунок 22,23).

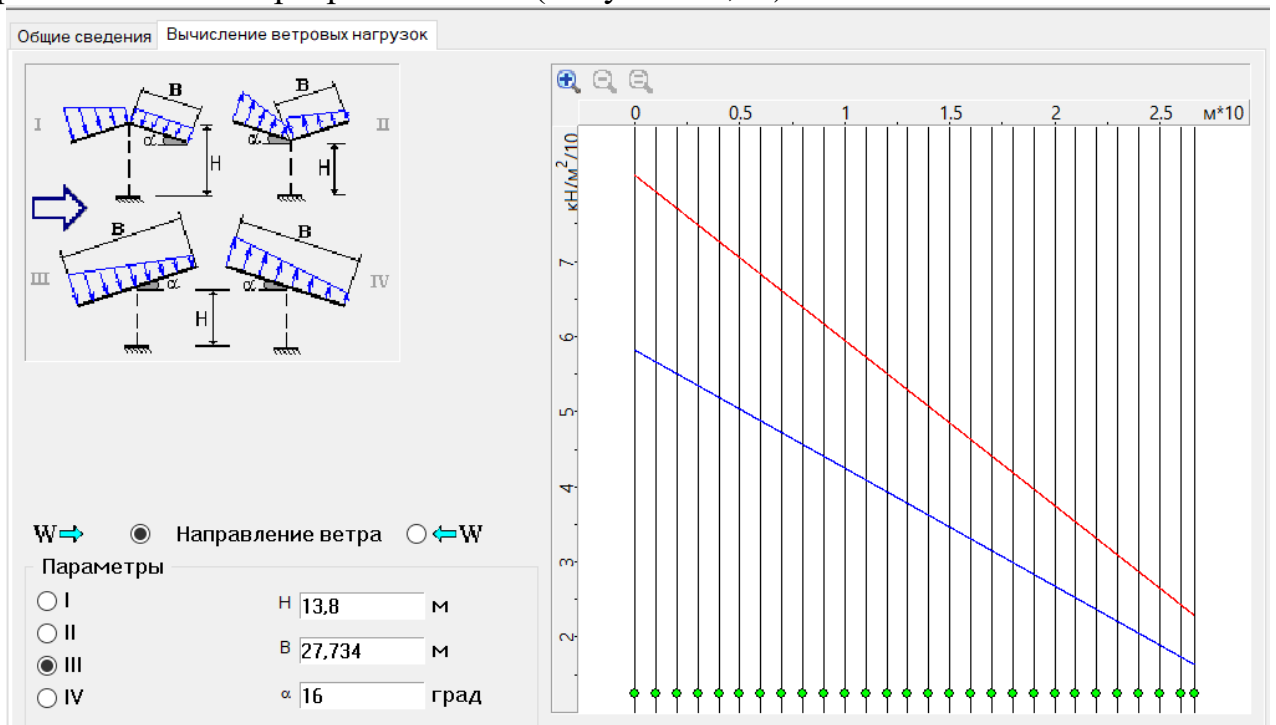


Рисунок 22 – Определение ветровой нагрузки для консоли в ВеСТ (наветренная сторона)

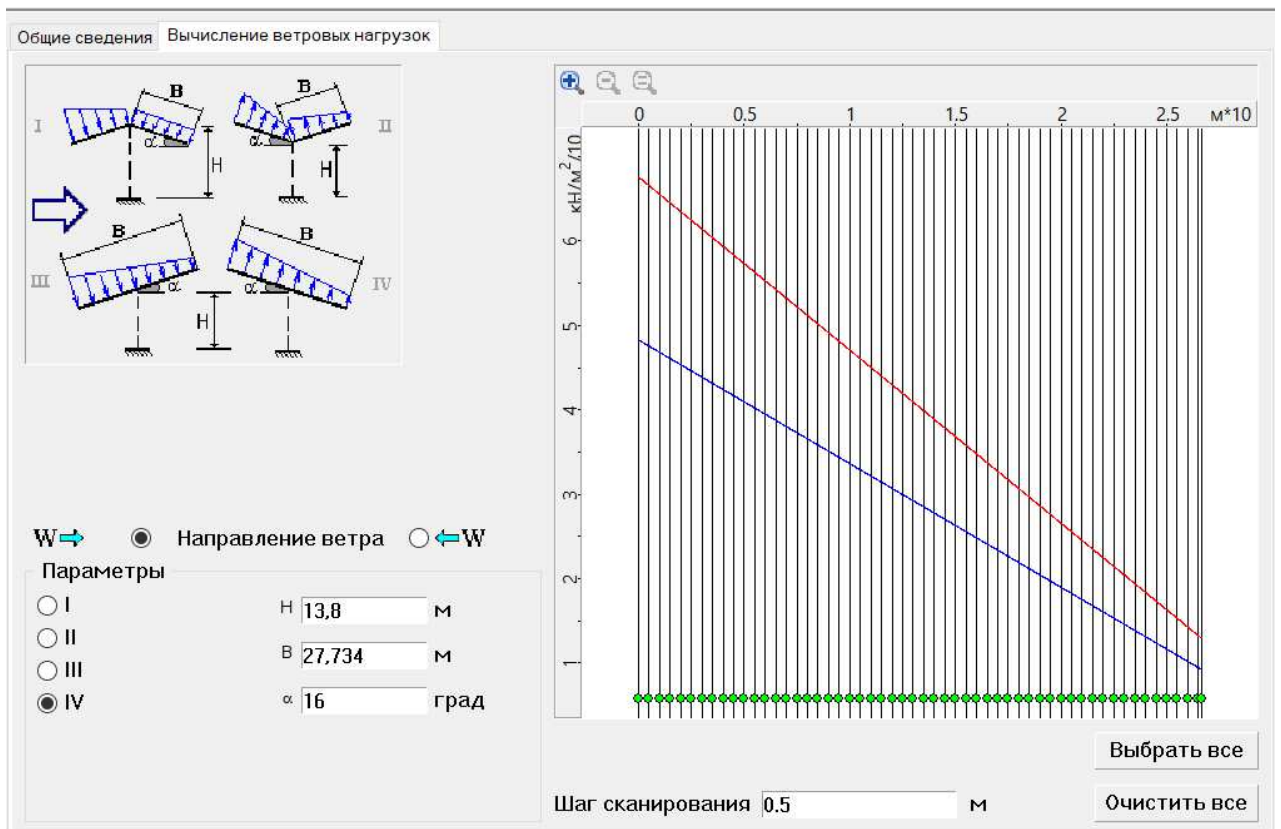


Рисунок 23 – Определение ветровой нагрузки для консоли в ВеСТ (заветренная сторона)

### Пульсационная составляющая ветровой нагрузки

Определение собственных форм и частот колебаний выполняем методом Ланцоша, для этого определим предельную частоту собственных колебаний в соответствии с [4].

Предельное значение частоты собственных колебаний  $f_{lim}$ , Гц, следует определять в зависимости от предельного безразмерного периода  $T_{g,lim}$  по формуле

$$f_{lim} = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{ЭК}) \gamma_f}}{940 T_{g,lim}}, \quad (2.9)$$

где  $T_{g,lim} = 0,023$  при значении суммарного логарифмического декремента колебаний  $\delta = 0,3$  (для зданий со стальным каркасом при наличие ограждающих конструкций);

$w_0$  (Па) - нормативное значение давления ветра;

$k(z_{ЭК})$  - коэффициент, учитывающий изменение давления ветра для высоты  $z_{ЭК}$ ;

$\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке.

Определим предельное значение частоты собственных колебаний по формуле (2.9)

$$f_{lim} = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{ЭК}) \gamma_f}}{940 T_{g,lim}} = \frac{\sqrt{480 \cdot 0,91 \cdot 1,4}}{940 \cdot 0,023} = 1,14 \text{ Гц.}$$

Для того, чтобы учесть предельное значение частоты собственных колебаний в ПК SCAD активируем галочку в параметрах задания динамических воздействий.

Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по X и Y для двух вариантов каркаса приведены на рисунках 24 и 25.

Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по X и Y для варианта каркаса с консолями приведены на рисунках 26 и 27.

Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по X и Y для варианта каркаса без консолей приведены на рисунках 28 и 29.

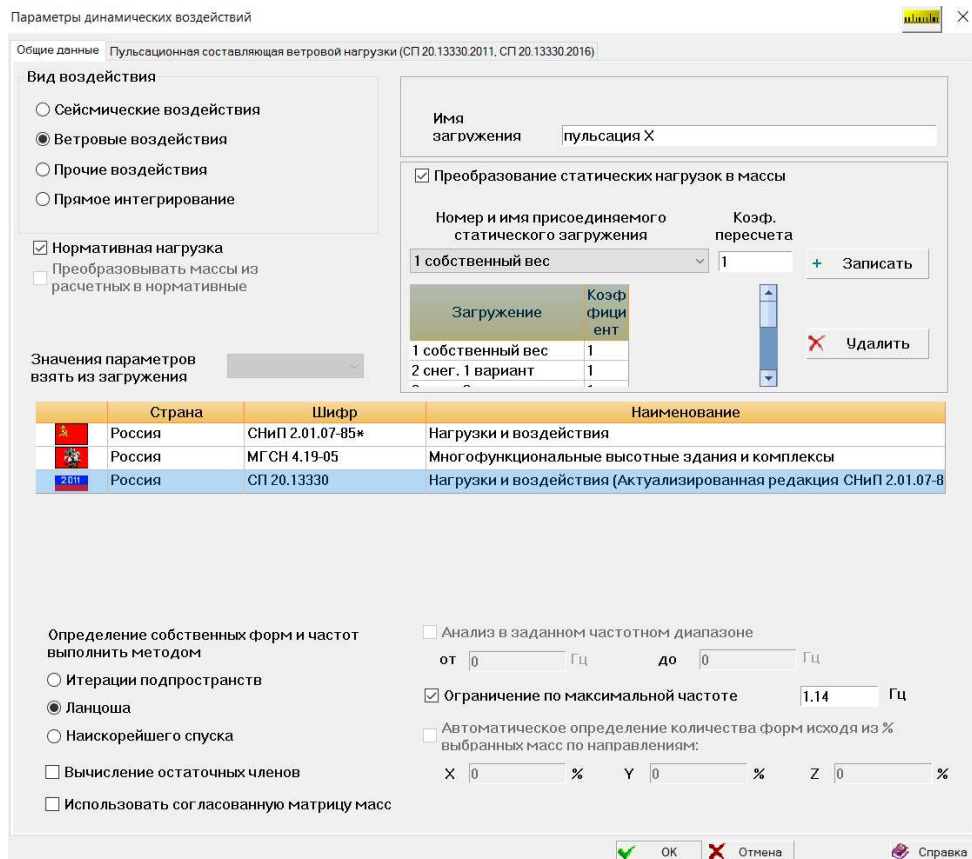


Рисунок 24 – Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по X для двух вариантов каркаса

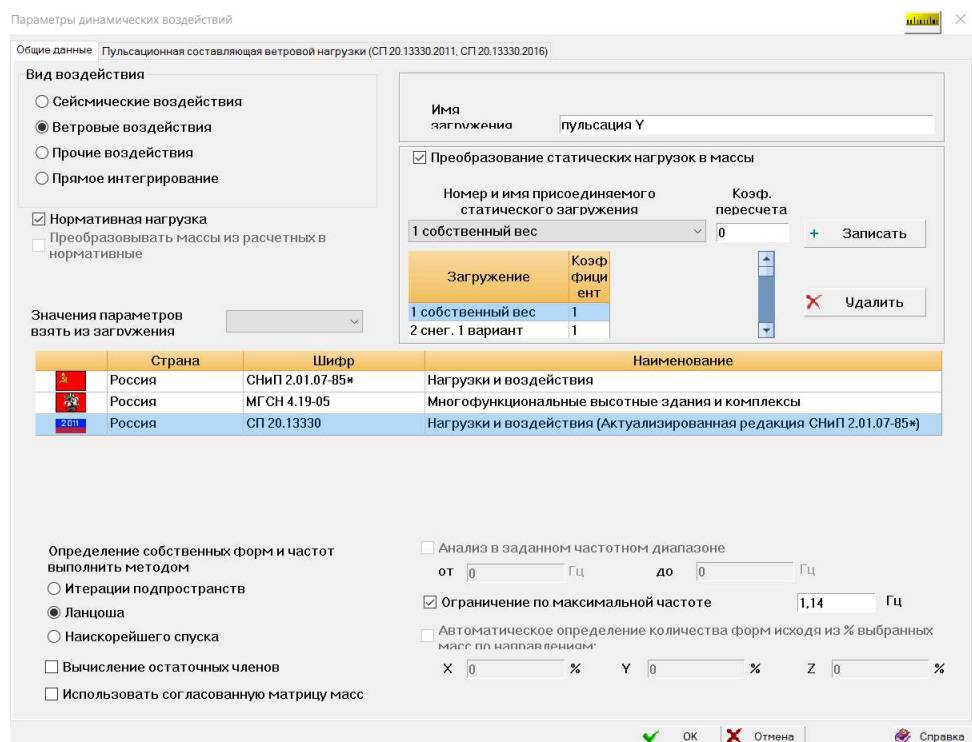


Рисунок 25 – Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по Y для двух вариантов каркаса

Параметры динамических воздействий

Общие данные | Пульсационная составляющая ветровой нагрузки (СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016)

Число учитываемых форм собственных колебаний:

Ветровое статическое нагружение: 4 ветер X

Координата нижнего узла расчетной схемы, на который воздействует ветер:

Поправочный коэффициент:

Ширина здания по фронту обдуваемой поверхности:

Длина здания вдоль действия ветра:

Расчет по п. 6.7 СНиП 2.01.07-85\* для учета всех вычисленных форм

Использовать Изменение №1 к СП 20.13330.2016

Параметры [СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016]

Ветровой район (см. табл. 11.1): Район 4

Тип местности (см. пункт 11.1.6): Тип В

Тип сооружения (см. пп. 11.1.4, 11.1.8): Любой тип здания

Логарифмический декремент (см. пункт 11.1.10): Ж/б и каменные сооружения

Направление ветра:
  Вдоль оси X
  Вдоль оси Y
  В плоскости XoY

Направление по X:

Направление по Y:

Все размеры задаются в м

OK Отмена Справка

Рисунок 26 – Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по X для варианта каркаса с консолями

Параметры динамических воздействий

Общие данные | Пульсационная составляющая ветровой нагрузки (СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016)

Число учитываемых форм собственных колебаний:

Ветровое статическое нагружение: 5 ветер -Y

Координата нижнего узла расчетной схемы, на который воздействует ветер:

Поправочный коэффициент:

Ширина здания по фронту обдуваемой поверхности:

Длина здания вдоль действия ветра:

Расчет по п. 6.7 СНиП 2.01.07-85\* для учета всех вычисленных форм

Использовать Изменение №1 к СП 20.13330.2016

Параметры [СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016]

Ветровой район (см. табл. 11.1): Район 4

Тип местности (см. пункт 11.1.6): Тип В

Тип сооружения (см. пп. 11.1.4, 11.1.8): Любой тип здания

Логарифмический декремент (см. пункт 11.1.10): Ж/б и каменные сооружения

Направление ветра:
  Вдоль оси X
  Вдоль оси Y
  В плоскости XoY

Направление по X:

Направление по Y:

Все размеры задаются в м

OK Отмена Справка

Рисунок 27 – Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по Y для варианта каркаса с консолями



Параметры динамических воздействий

Общие данные Пульсационная составляющая ветровой нагрузки (СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016)

Число учитываемых форм собственных колебаний

Ветровое статическое нагружение  
4 ветер X

Координата нижнего узла расчетной схемы, на который воздействует ветер

Поправочный коэффициент

Ширина здания по фронту обдуваемой поверхности

Длина здания вдоль действия ветра

Расчет по п. 6.7 СНиП 2.01.07-85\* для учета всех вычисленных форм

Использовать Изменение №1 к СП 20.13330.2016

Параметры [СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016]

Ветровой район (см. табл. 11.1) Район 4

Тип местности (см. пункт 11.1.6) Тип В

Тип сооружения (см. пп. 11.1.4, 11.1.8) Любой тип здания

Логарифмический декремент (см. пункт 11.1.10) Ж/Б и каменные сооружения

Направление ветра  Вдоль оси X  Вдоль оси Y

В плоскости ХоY

Направление по X

Направление по Y

Все размеры задаются в м

OK Отмена Справка

Рисунок 28 – Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по X для варианта каркаса без консолей

Параметры динамических воздействий

Общие данные Пульсационная составляющая ветровой нагрузки (СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016)

Число учитываемых форм собственных колебаний

Ветровое статическое нагружение  
5 ветер -Y

Координата нижнего узла расчетной схемы, на который воздействует ветер

Поправочный коэффициент

Ширина здания по фронту обдуваемой поверхности

Длина здания вдоль действия ветра

Расчет по п. 6.7 СНиП 2.01.07-85\* для учета всех вычисленных форм

Использовать Изменение №1 к СП 20.13330.2016

Параметры [СП 20.13330.2011, СП 20.13330.2016]

Ветровой район (см. табл. 11.1) Район 4

Тип местности (см. пункт 11.1.6) Тип В

Тип сооружения (см. пп. 11.1.4, 11.1.8) Любой тип здания

Логарифмический декремент (см. пункт 11.1.10) Ж/Б и каменные сооружения

Направление ветра  Вдоль оси X  Вдоль оси Y

В плоскости ХоY

Направление по X

Направление по Y

Все размеры задаются в м

OK Отмена Справка

Рисунок 29 – Параметры задания пульсационной составляющей ветровой нагрузки по Y для варианта каркаса без консолей

### 2.1.3 Приложение нагрузок

Собственный вес учитывается программой SCAD автоматически, в зависимости от принятых жесткостей. Нагрузка от собственного веса для двух вариантов каркаса приведена на рисунках 30-31.

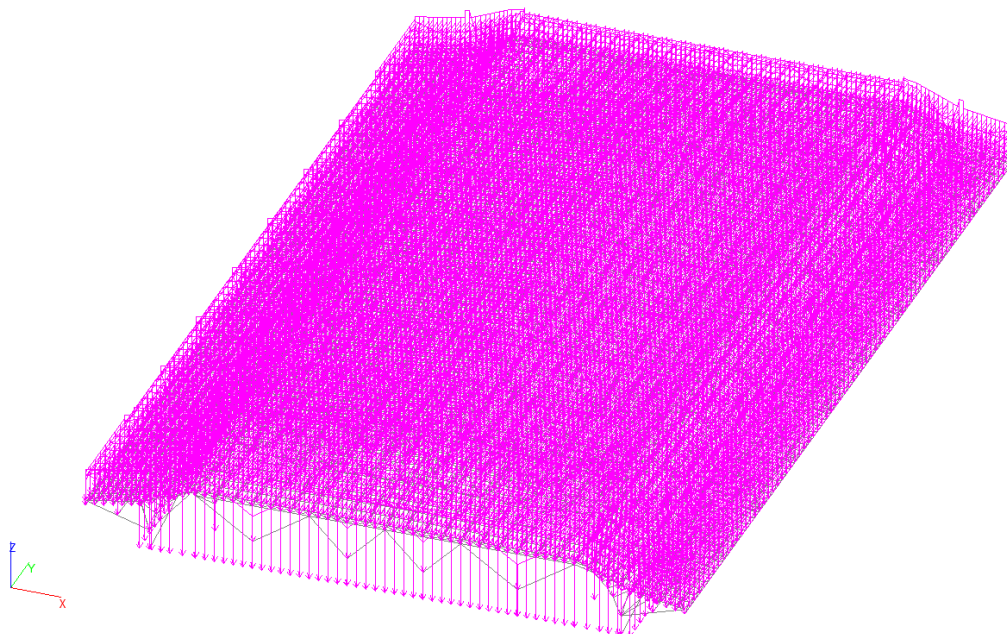


Рисунок 30 – Нагрузка от собственного веса в ПК SCAD для варианта каркаса с консолями

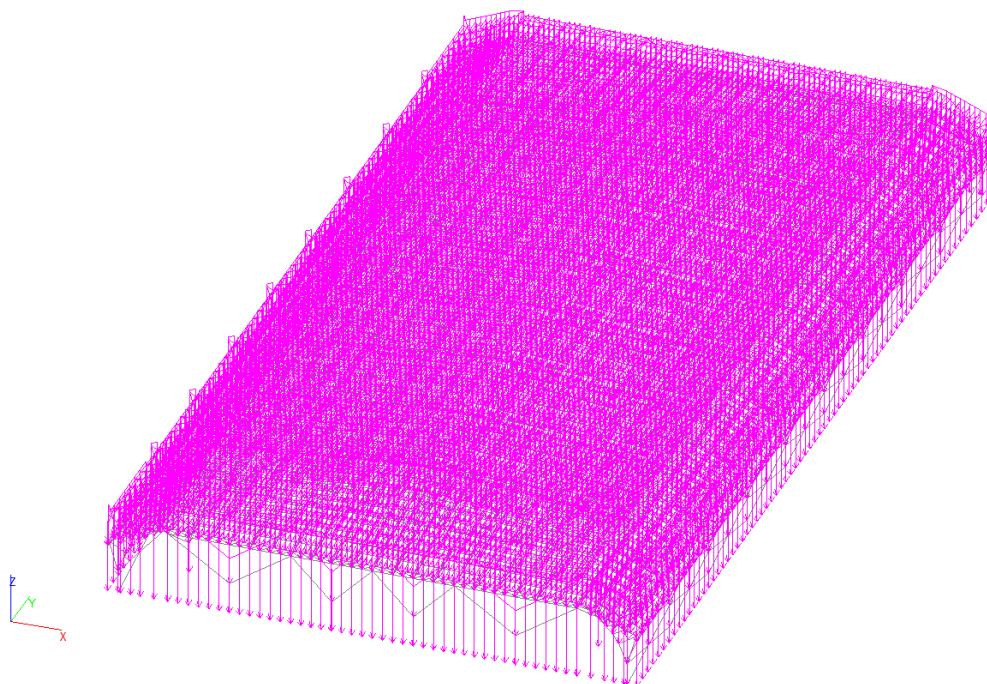


Рисунок 31 – Нагрузка от собственного веса в ПК SCAD для варианта каркаса без консолей

Снеговую нагрузку на покрытие прикладываем к решетчатым прогонам и прогонам второго яруса. В пролете основной шаг прогонов 1,3 метра, по решетчатой стойке и консоли шаг различный. Карта снеговых нагрузок на элементы для двух вариантов каркаса приведена на рисунках 32-35.

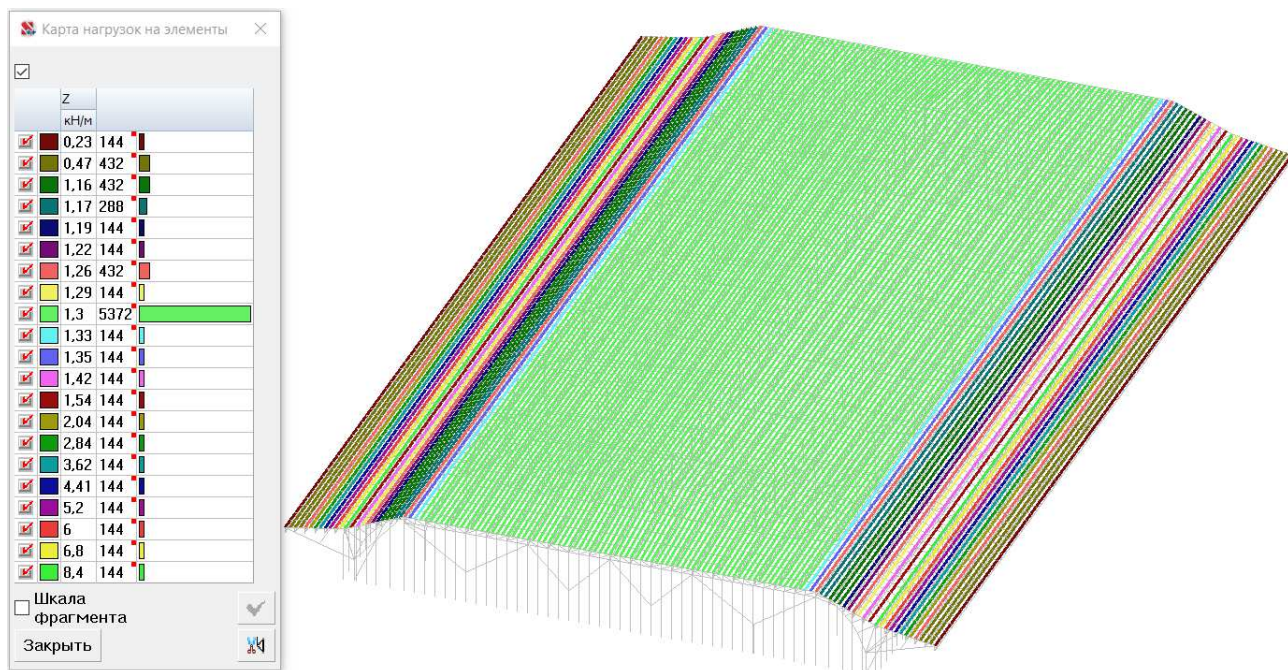


Рисунок 32 – Карта нагрузок на элементы. Снеговая нагрузка (1 вариант) для варианта каркаса с консолями

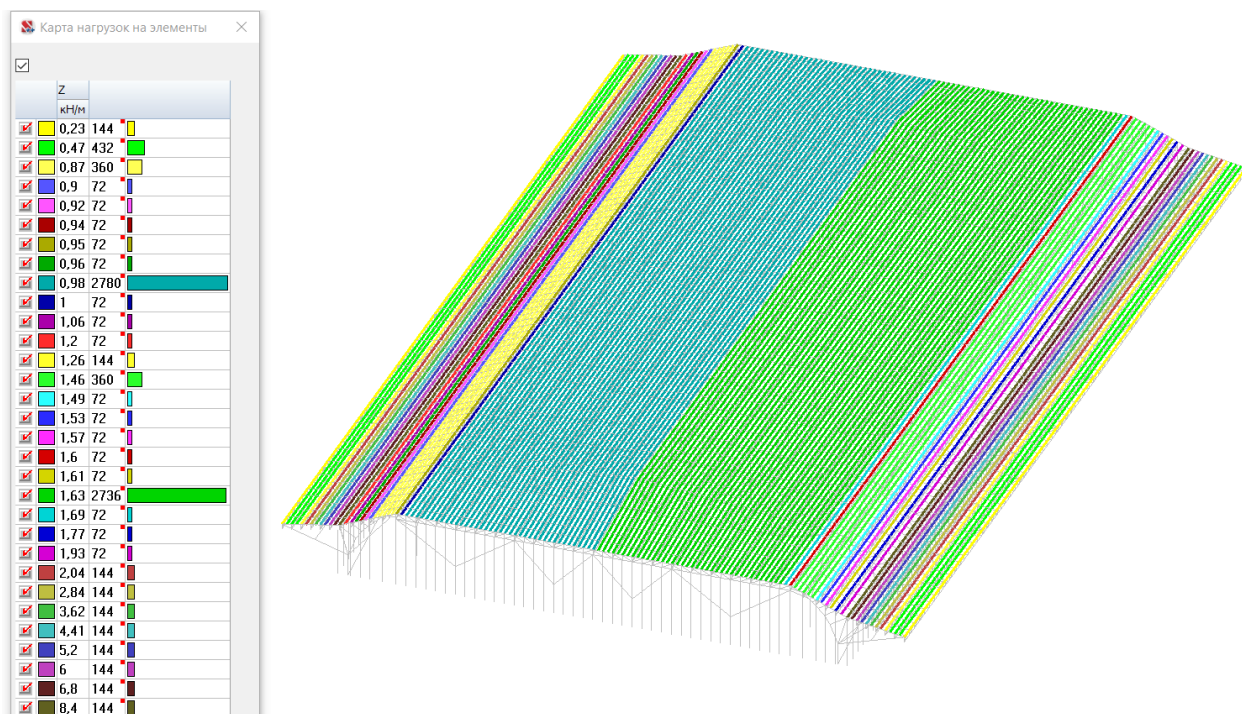


Рисунок 33 – Карта нагрузок на элементы. Снеговая нагрузка (2 вариант) для варианта каркаса с консолями

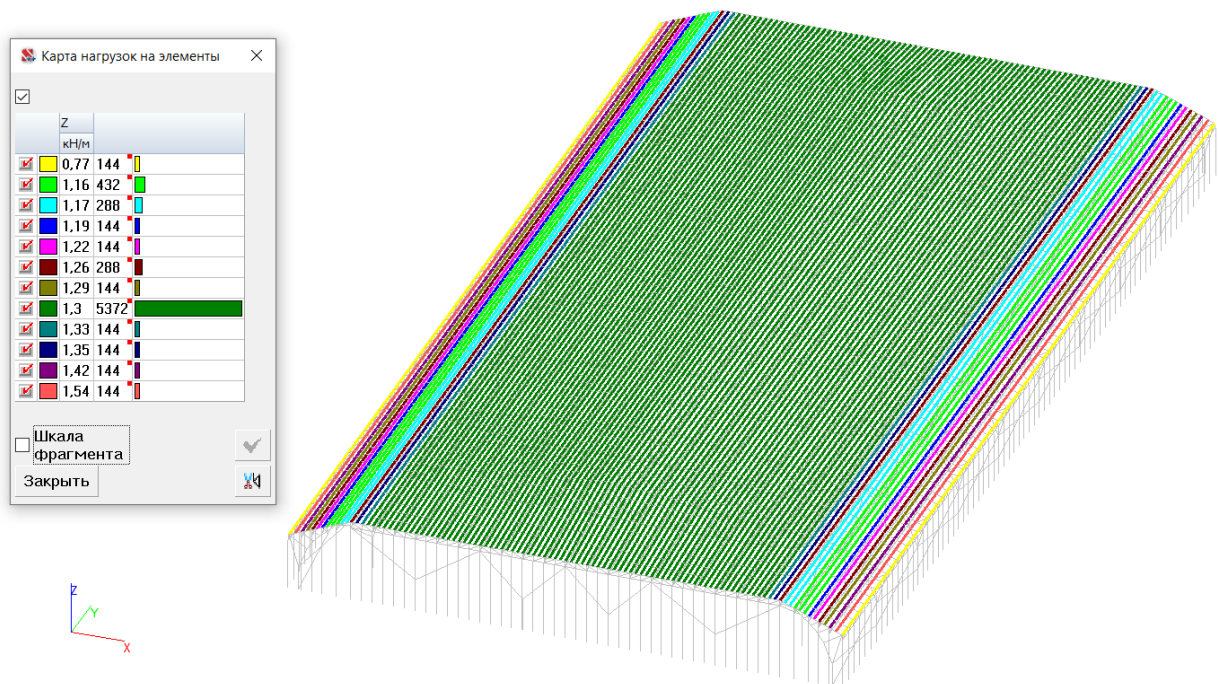


Рисунок 34 – Карта нагрузок на элементы. Снеговая нагрузка (1 вариант) для варианта каркаса без консолей

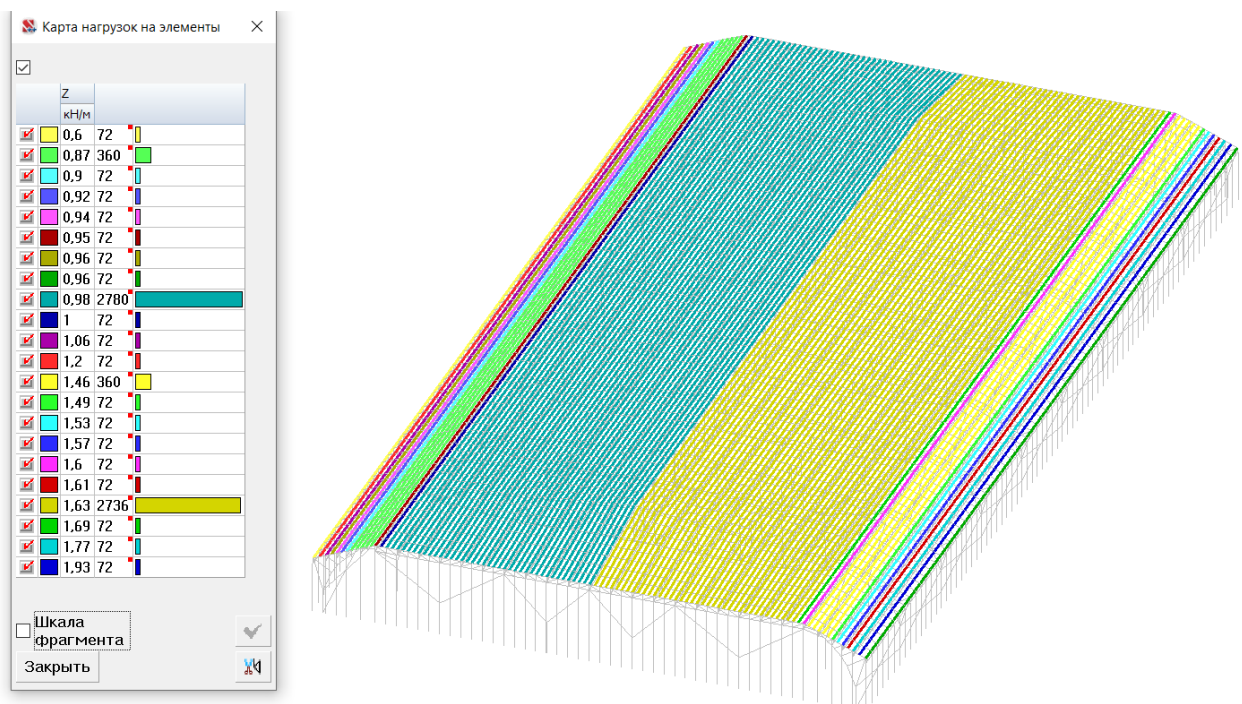


Рисунок 35 – Карта нагрузок на элементы. Снеговая нагрузка (2 вариант) для варианта каркаса без консолей

Ветровая нагрузка на покрытие аналогично снеговой нагрузке прикладывается к решетчатым прогонам и прогонам второго яруса. Карта ветровых нагрузок на покрытие для двух вариантов каркаса приведена на рисунках 36-39.

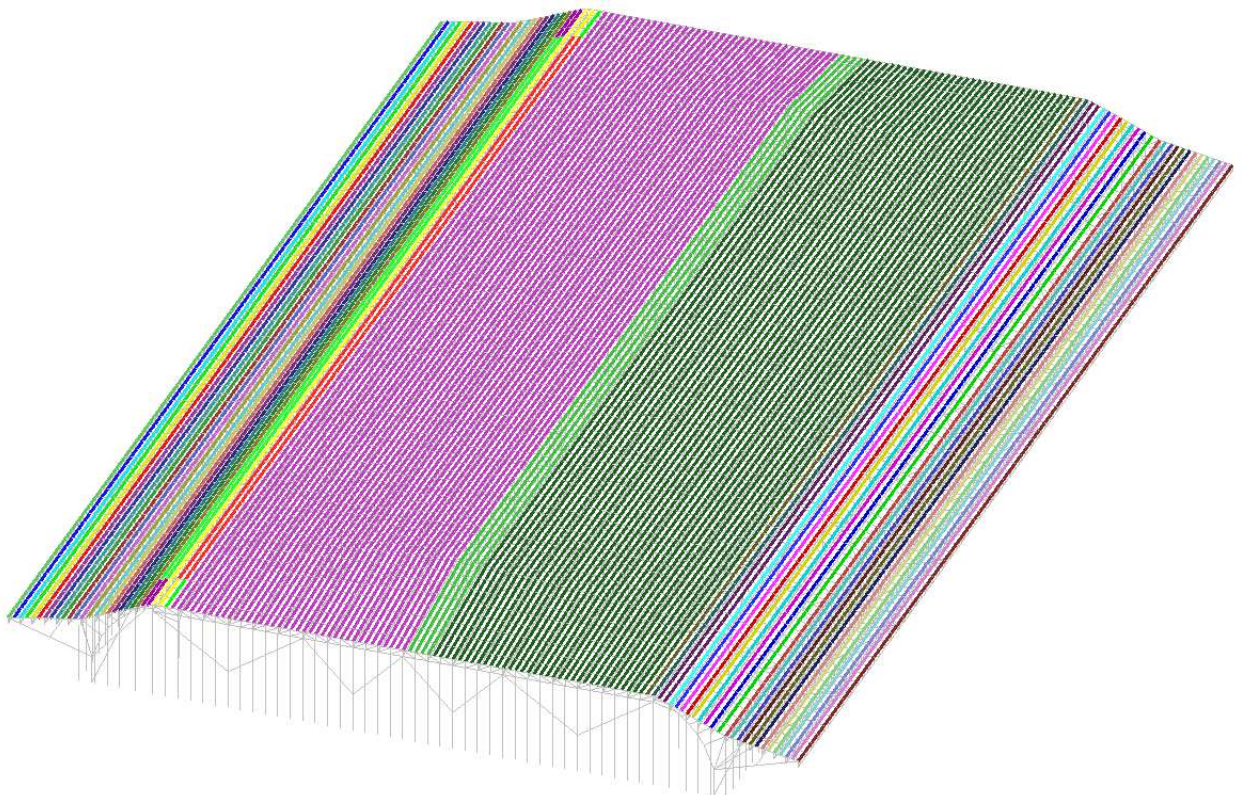
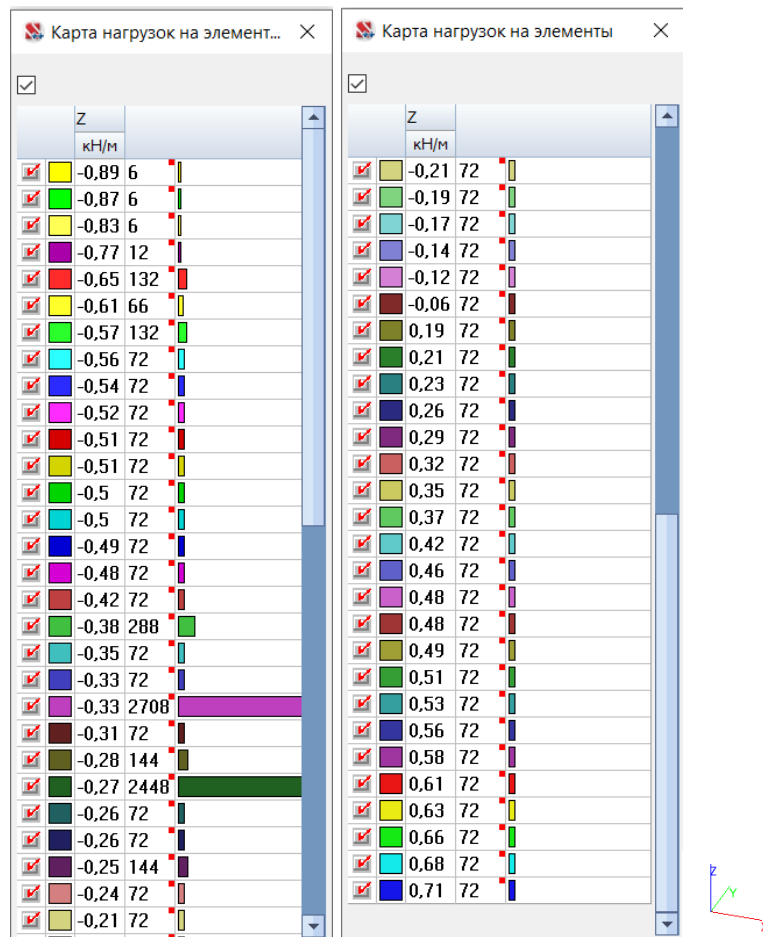


Рисунок 36 – Карта нагрузок на элементы. Ветровая нагрузка по оси X для варианта каркаса с консолями

Карта нагрузок на элементы

	Z	кН/м
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,91	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,83	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,81	40
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,8	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,76	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,74	158
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,74	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,72	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,72	8
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,7	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,68	12
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,66	8
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,48	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,44	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,4	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,4	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,39	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,39	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,38	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,38	395

Шкала фрагмента

Закрывать

Карта нагрузок на элементы

	Z	кН/м
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,38	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,38	395
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,37	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,36	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,36	30
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,35	110
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,34	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,34	20
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,31	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,31	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,29	5107
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,28	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,28	1430
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,28	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,27	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,27	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,26	130
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,26	650
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,18	10
<input checked="" type="checkbox"/>	-0,14	130

Шкала фрагмента

Закрывать

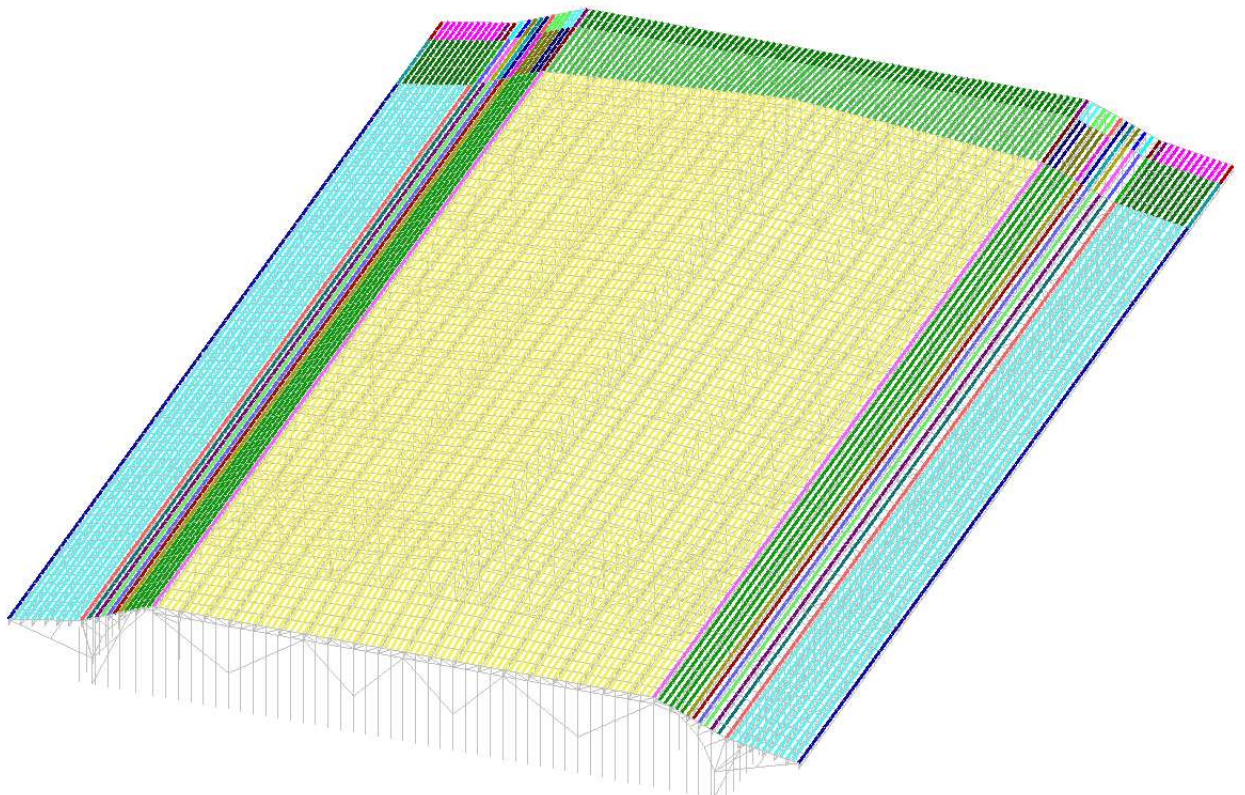


Рисунок 37 – Карта нагрузок на элементы покрытия. Ветровая нагрузка по оси -Y для варианта каркаса с консолями

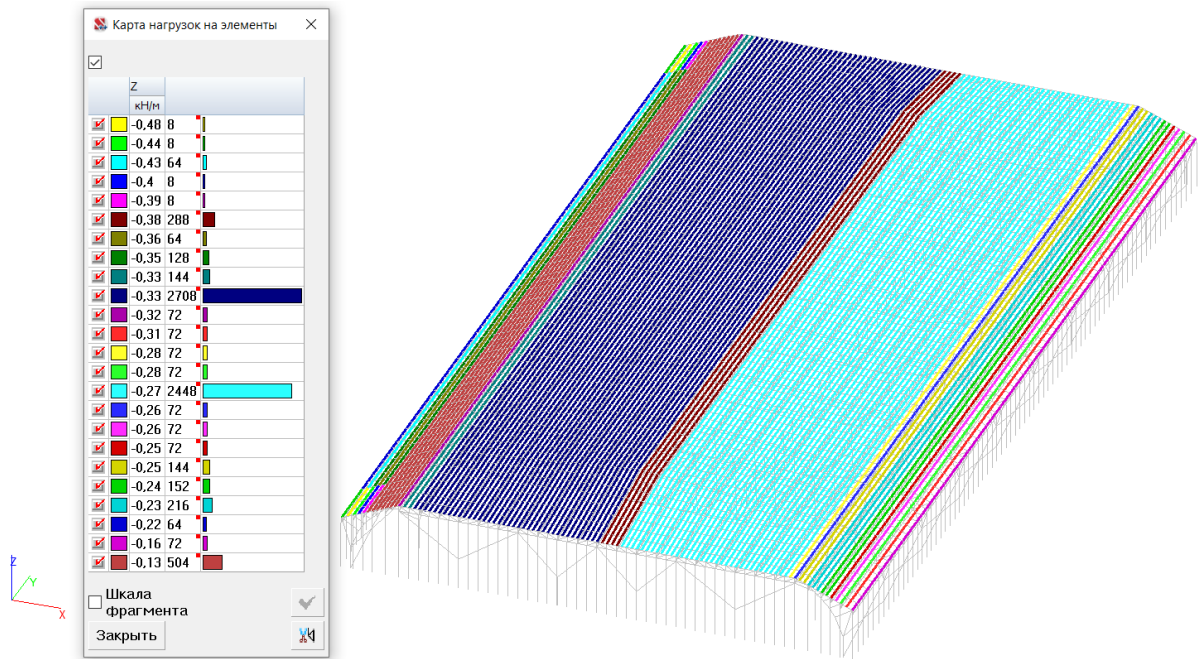


Рисунок 38 – Карта нагрузок на элементы покрытия. Ветровая нагрузка по оси X для варианта каркаса без консолей

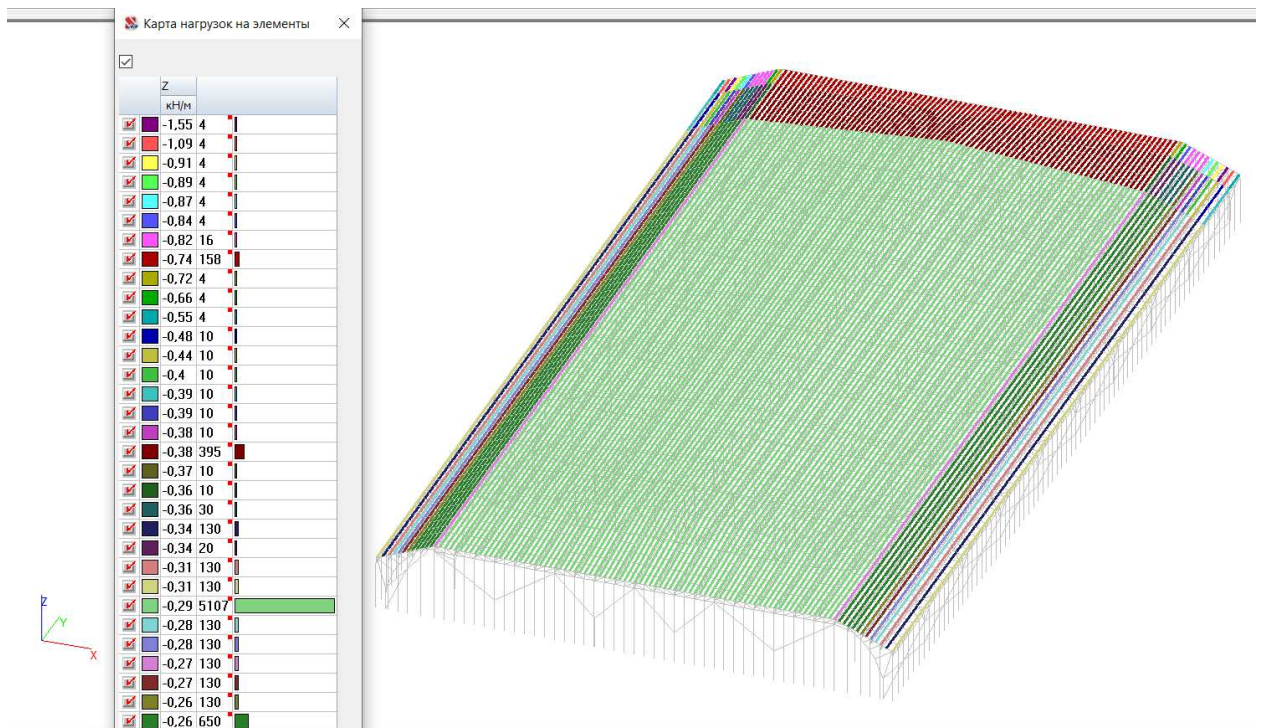


Рисунок 39 – Карта нагрузок на элементы покрытия. Ветровая нагрузка по оси -Y для варианта каркаса без консолей

Ветровая нагрузка на боковые стены прикладывается к стойкам фахверка. Для двух вариантов каркаса нагрузка на боковые стены одинаковая, для наглядности отфрагментируем стойки фахверка с распределенной ветровой нагрузкой.

Нагрузка на боковые стены для двух вариантов каркаса приведены на рисунках 40-43.

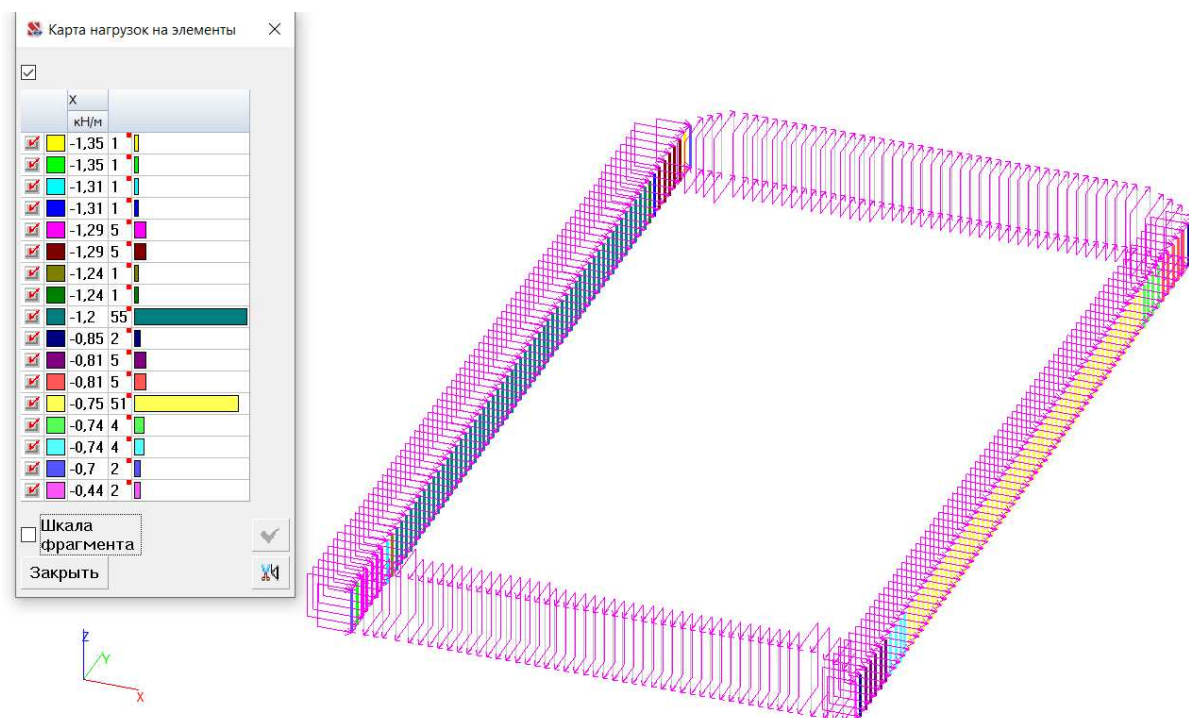


Рисунок 40 –Ветровая нагрузка по оси X на боковые стены для двух вариантов каркаса. Значения нагрузок в направлении оси X

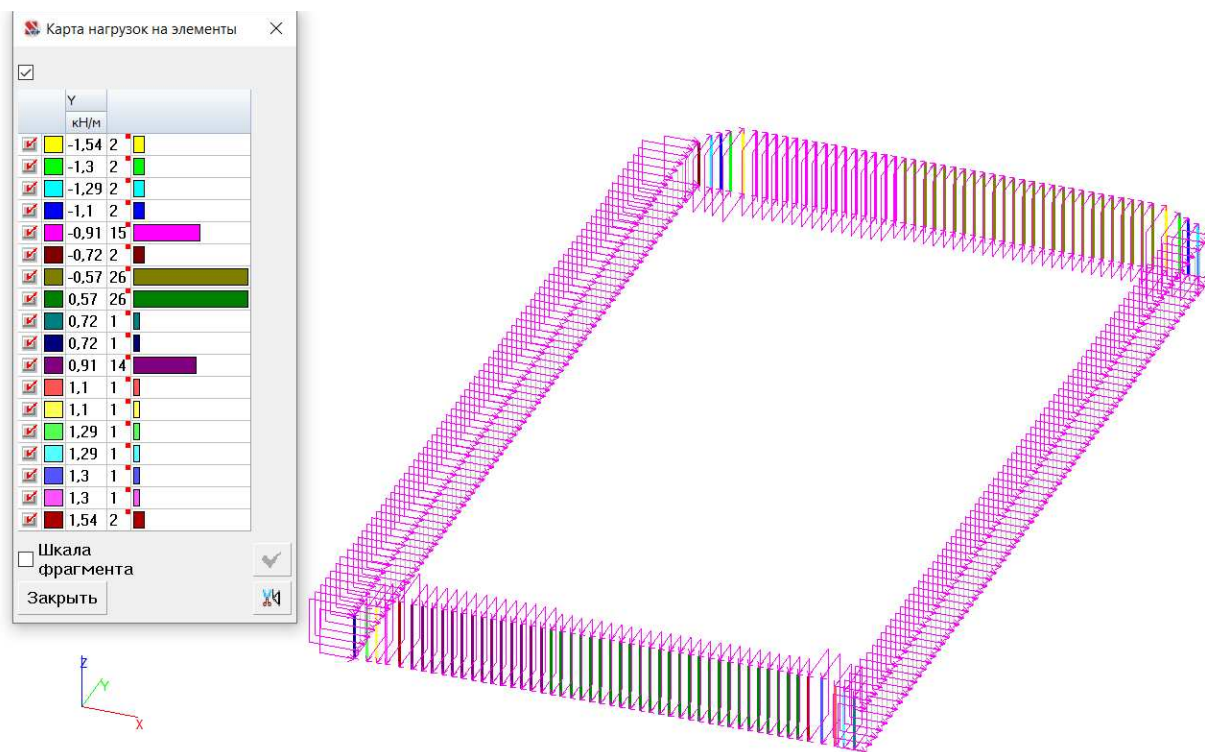


Рисунок 41 –Ветровая нагрузка по оси Y на боковые стены для двух вариантов каркаса. Значения нагрузок в направлении оси Y



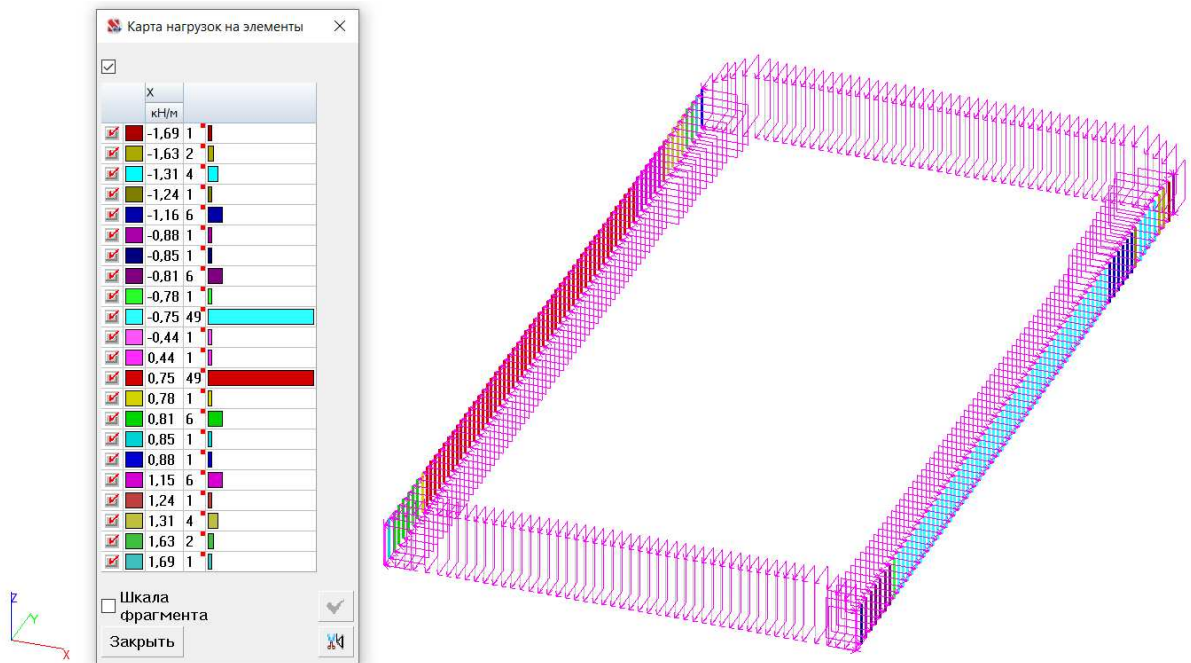


Рисунок 42 – Ветровая нагрузка по оси -Y на боковые стены для двух вариантов каркаса. Значения нагрузок в направлении оси X

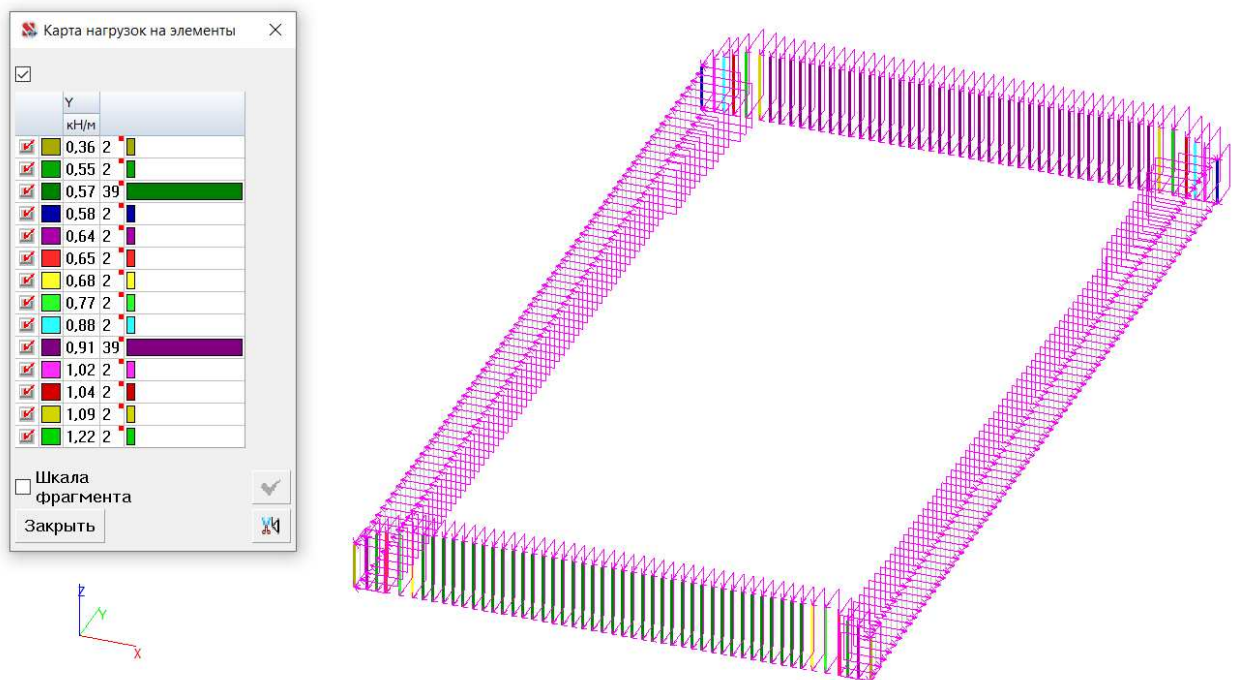


Рисунок 43 – Ветровая нагрузка по оси -Y на боковые стены для двух вариантов каркаса. Значения нагрузок в направлении оси Y

Нагрузку от веса мембранной кровли прикладываем к прогонам второго яруса, карта нагрузок на элементы от веса кровли для двух вариантов каркаса приведена на рисунках 44-45.

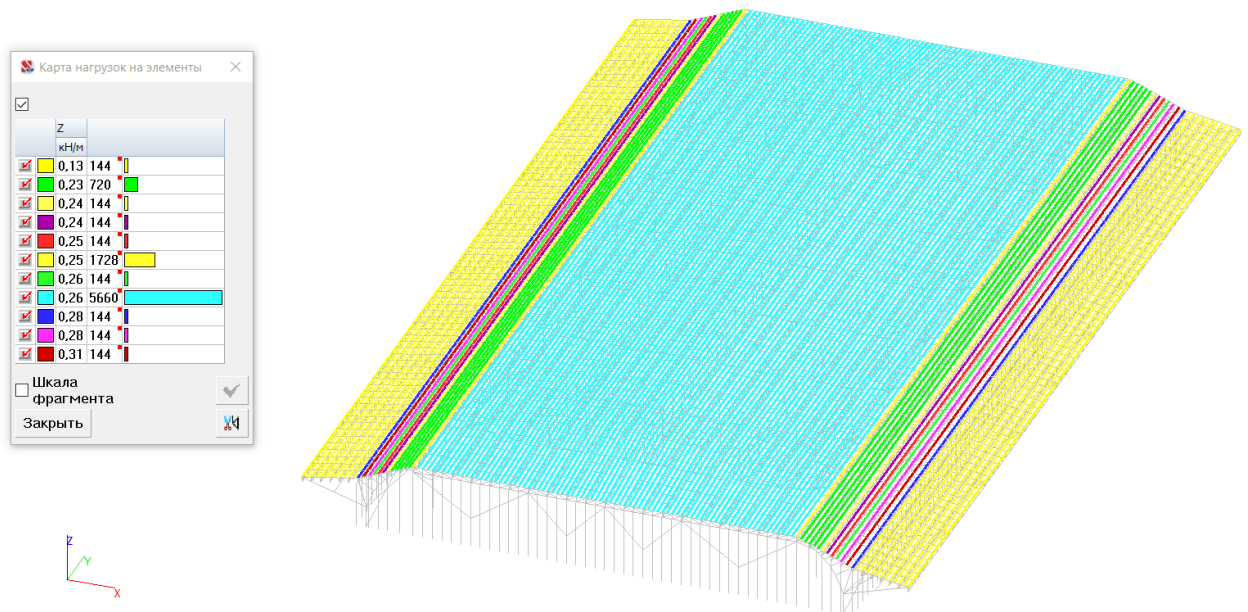


Рисунок 44 – Карта нагрузок на элементы от веса кровли для варианта каркаса с консолями

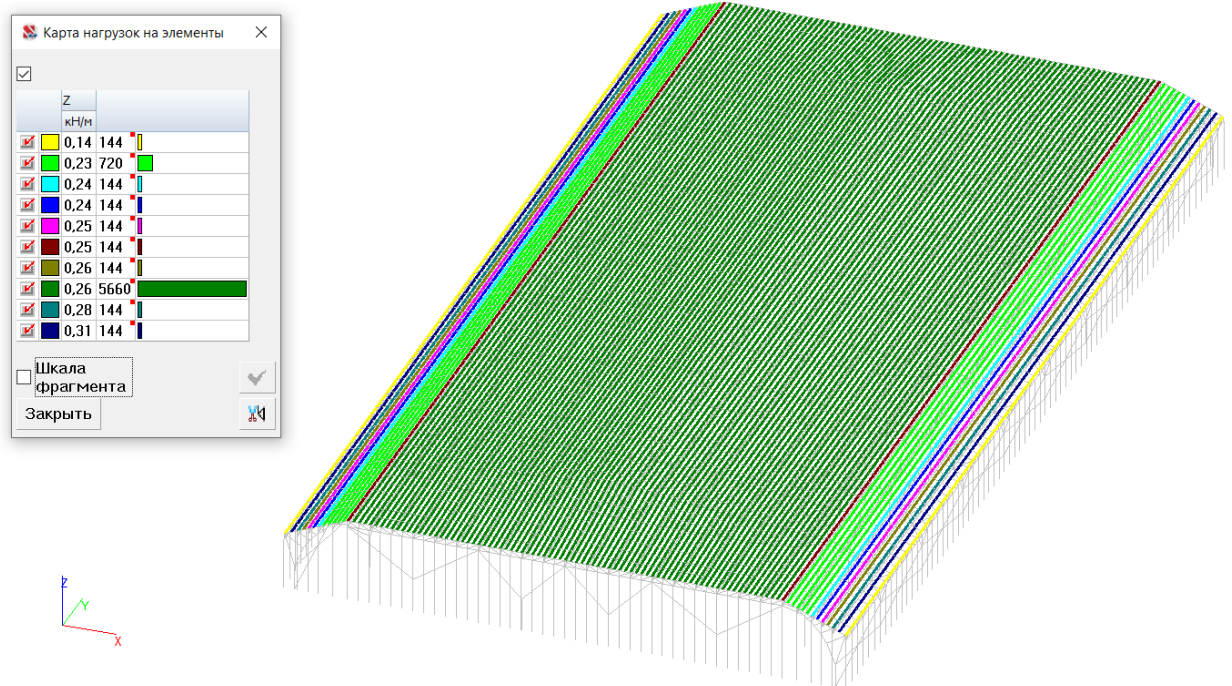


Рисунок 45 – Карта нагрузок на элементы от веса кровли для варианта каркаса без консолей

Нагрузку от веса стеновых сэндвич панелей прикладываем к стойкам фахверка, карта нагрузок на стойки фахверка от веса стеновых сэндвич-панелей для двух вариантов каркаса приведена на рисунках 46-47.

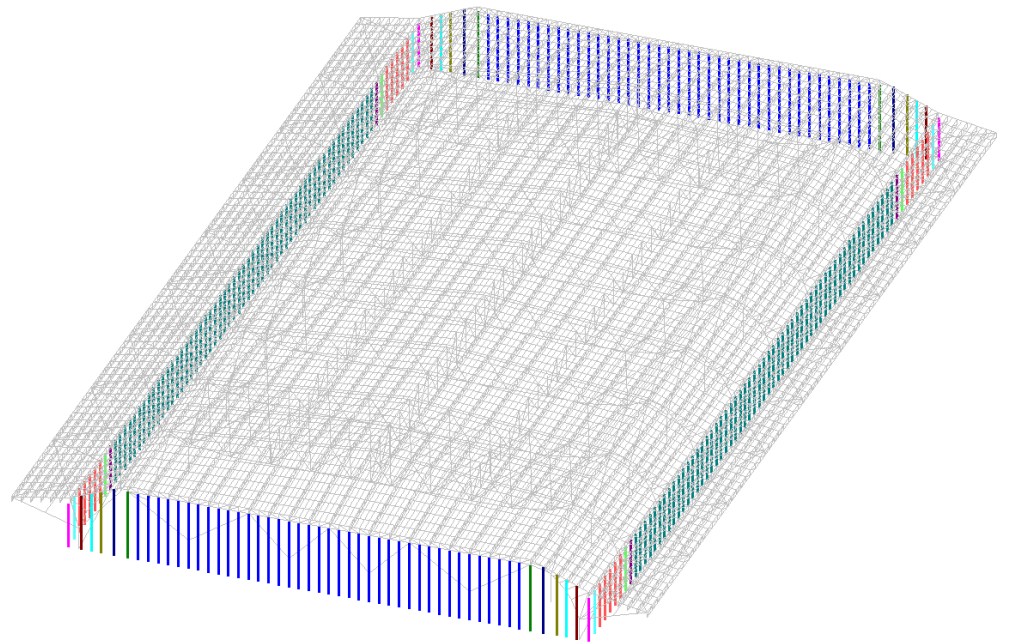
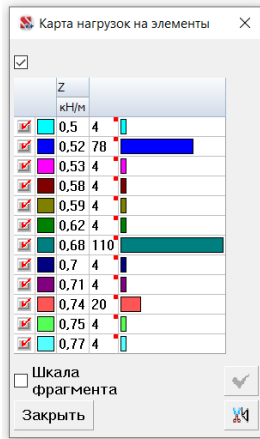


Рисунок 46 – Карта нагрузок на стойки фахверка от веса стеновых сэндвич-панелей для варианта каркаса с консолями

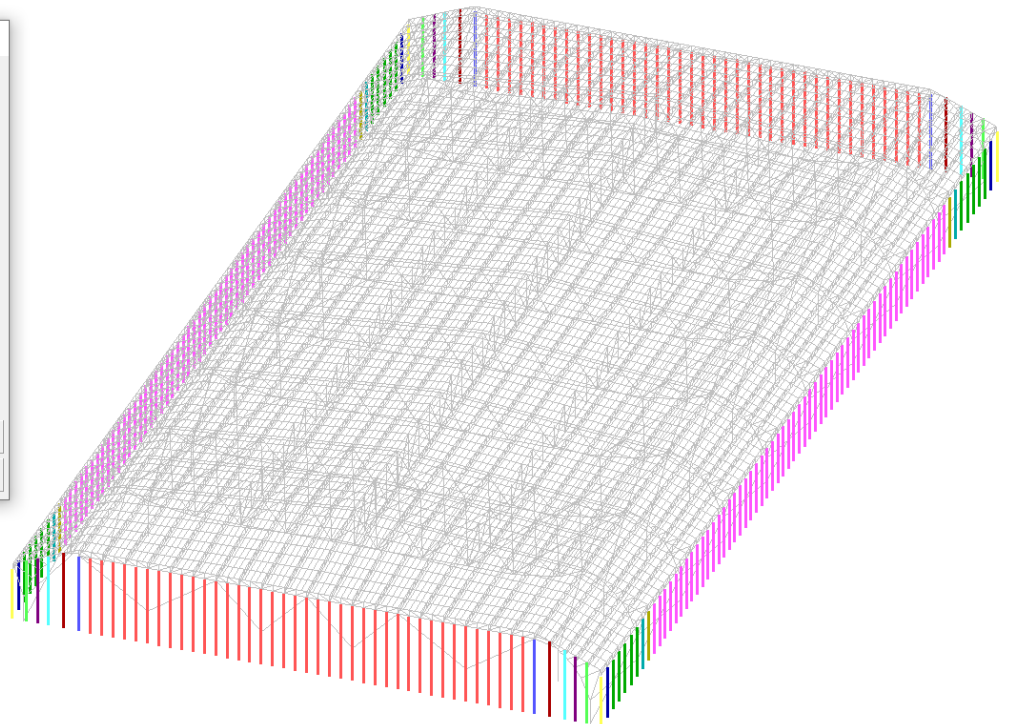
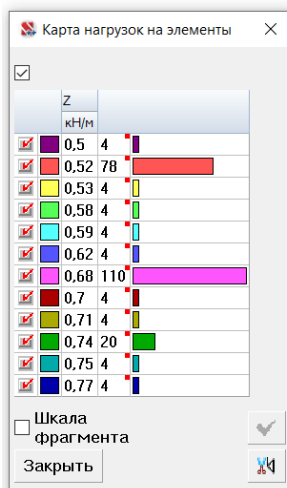


Рисунок 47 – Карта нагрузок на стойки фахверка от веса стеновых сэндвич-панелей для варианта каркаса без консолей

Параметры пульсационной составляющей ветровой нагрузки для двух вариантов каркаса приведены в п.2.1.2 на рисунках 24-29.

## 2.2 Расчет каркаса с консолями на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета

### 2.2.1 Задание комбинаций нагрузок и РСУ

Для анализа прогибов заданы комбинации загрузжений (1-8 комбинации) с понижающими коэффициентами (т.е. от нормативных значений нагрузок). Для анализа устойчивости системы при создании расчетной схемы выявлены наиболее неблагоприятные комбинации загрузжений (комбинации 9,10 – приняты расчетные значения нагрузок). Расчетные сочетания усилий приведены на рисунке 48, комбинации загрузжений приведены на рисунке 49.

Расчетные сочетания усилий и перемещений

№	Активное загрузжение	Активное загрузжение в РСР	Наименование	Тип загрузжения	Вид нагрузки	Знакопеременные	Участвуют в групповых операциях			Козф. надежности	Доля длительности
							Объединения	Взаимоисключения	Сопутствия		
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	собственный вес	Постоянные наг	Вес металличе	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,05	1	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	снег. 1 вариант	Кратковременн	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0,7	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	снег. 2 вариант	Кратковременн	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0,7	
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ветер X	Кратковременн	Ветровые нагру	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ветер -Y	Кратковременн	Ветровые нагру	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нагрузка на кровлю	Постоянные наг	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1	
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нагрузка на фальсвер	Постоянные наг	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1	
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	пульсация X	Кратковременн	Ветровые нагру	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	пульсация Y	Кратковременн	Ветровые нагру	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	

Деактивировать загрузжение | Дерево РСУ | Загрузжения ■ не могут входить в сочетания без загрузжений ■ | Удаление РСУ

Шаг ориентации площадок при анализе пластин: 15 град | Отчет

Параметры: Список элементов, Унификация, Группы

Связи загрузжений: Объединение, Сопутствие, Взаимоисключение, Краны

Типы сооружений (при учете сейсмики):  Гражданские и промышленные,  Транспортные

2016

Взаимоисключающие загрузжения

№	Наименование	2	3	8	9
2	снег. 1 вариант	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	снег. 2 вариант	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	пульсация X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	пульсация Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

OK | Отмена | Справка

Рисунок 48 – Расчетные сочетания усилий

Комбинации загрузжений

Учесть коэффициент надежности |  Учесть долю длительности

№	Загрузжения/Комбинации	Козфициент
1	собственный вес	0,95
2	снег. 1 вариант	0,71
3	снег. 2 вариант	0
4	ветер X	0
5	ветер -Y	0
6	нагрузка на кровлю	0,83
7	нагрузка на фальсверк от стеновых панелей	0,83
8	пульсация X	0,71
9	пульсация Y	0

Комбинации загрузжений

№	Комбинации загрузжений	Название
1	0.952381*L1+0.714286*L2+0.833333*L6+0.833333*L7+0.714286*L8	
2	0.952381*L1+0.714286*L2+0.833333*L6+0.833333*L7+0.714286*L9	
3	0.952381*L1+0.714286*L3+0.833333*L6+0.833333*L7+0.714286*L8	
4	0.952381*L1+0.714286*L3+0.833333*L6+0.833333*L7+0.714286*L9	
5	0.952381*L1+0.714286*L2+0.833333*L6+0.833333*L7	
6	0.952381*L1+0.714286*L3+0.833333*L6+0.833333*L7	
7	0.952381*L1+0.833333*L6+0.833333*L7+0.714286*L8	
8	0.952381*L1+0.833333*L6+0.833333*L7+0.714286*L9	
9	L1+L2+L6+L7	
10	L1+L3+L6+L7	

Запись комбинации | Удаление комбинации | Новая комбинация | Загрузить из файла | Сохранить в файл | Отчет

Рисунок 49 – Комбинации загрузжений

## 2.2.2 Подбор сечений

Предварительно принятые жесткости показаны на рисунке 50. Для элементов каркаса большепролетного крытого конькобежного центра в основном приняты трубы круглого [9,10] или квадратного сечения [11], для некоторых элементов приняты двутавровые сечения [12].

№	Сечение	Жесткость
1	X, Y, Z, Ux, Uy, Uz	172
2	1220x13	160
3	630x10	144
4	1420x18	96
5	1020x13	54
6	720x10	16
7	1020x10	12
8	530.0x5.5	80
9	1220x18	40
10	1020x12	440
11	530x9	140
12	820x12	108
13	530x8	72
14	426.0x5.5	80
15	140x4.0	140
16	180x3.5	93
17	500x9.5	84
18	200x7.0	84
19	530.0x5.0	204
20	250x8.0	142
16	180x3.5	93
17	500x9.5	84
18	200x7.0	84
19	530.0x5.0	204
20	250x8.0	142
21	300x8.0	102
22	300x13.0	8764
23	400x14.5	6192
24	244.5x3	40
25	500x11.0	2240
26	30Ш3	240
27	10Б1	1500
28	30Б2	82
29	100x5.5	1008
30	90x7.5	80
31	30Ш2	1008
32	20Ш1	1920
33	20Б1	1254
34	150x7.5	1232
35	630.0x11.0	336
36	160x5.0	336
37	630.0x12.0	352
38	12Б2	356
39	200x5.5	354

Рисунок 50 – Предварительно принятые жесткости

При предварительном расчете на основные нагрузки коэффициент использования сечения не превышает единицу (Рисунок 51), но в основном очень мал, что означает перерасход материала.

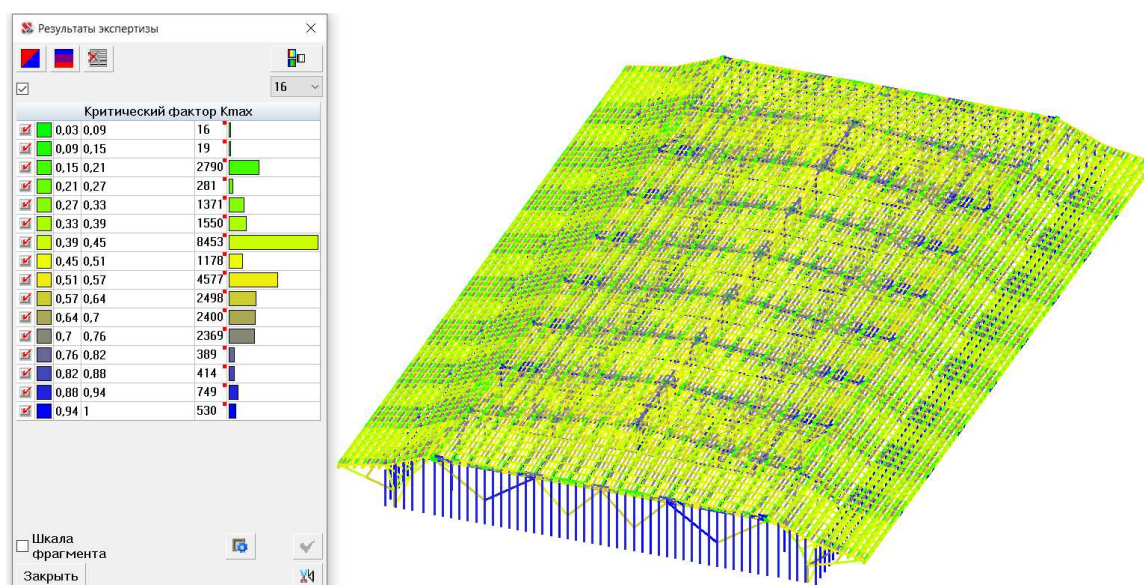


Рисунок 51 – Критический фактор при изначальных сечениях

Для того, чтобы сечения использовались эффективно, унифицируем элементы по результатам расчета, стремясь к максимально целесообразному использованию стали.

В процессе подбора жесткостей для некоторых элементов пришлось заменить тип сечения с двутаврового на квадратное, с труб квадратного сечения на трубы круглого сечения, потому что при анализе критического фактора они показывали лучший результат, а в некоторых случаях сыграл фактор ограниченности сортамента.

Подбор сечений производился вручную, на основании рекомендованных функцией подбора сечений ПК SCAD.

После добавления новых конструктивных групп, изменения и подбора сечений удалось достигнуть коэффициента использования сечений для большего количество элементов в пределах 0,7-1 (Рисунок 52).

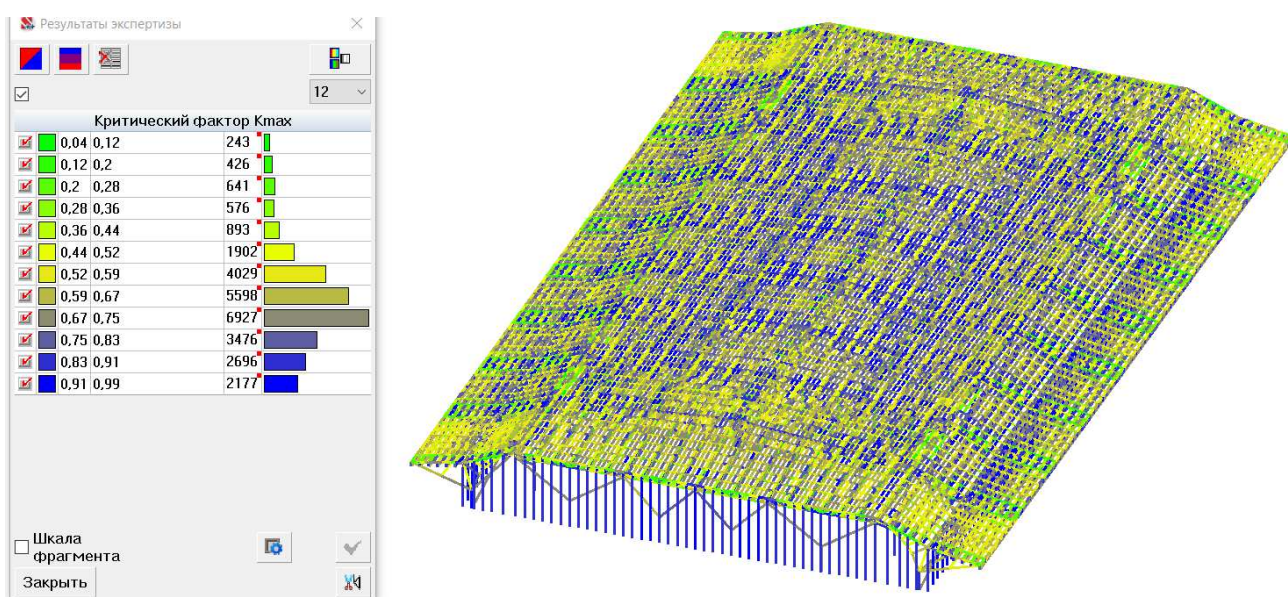


Рисунок 52 – Критический фактор при измененных сечениях

Окончательно принятые жесткости приведены на рисунке 53.

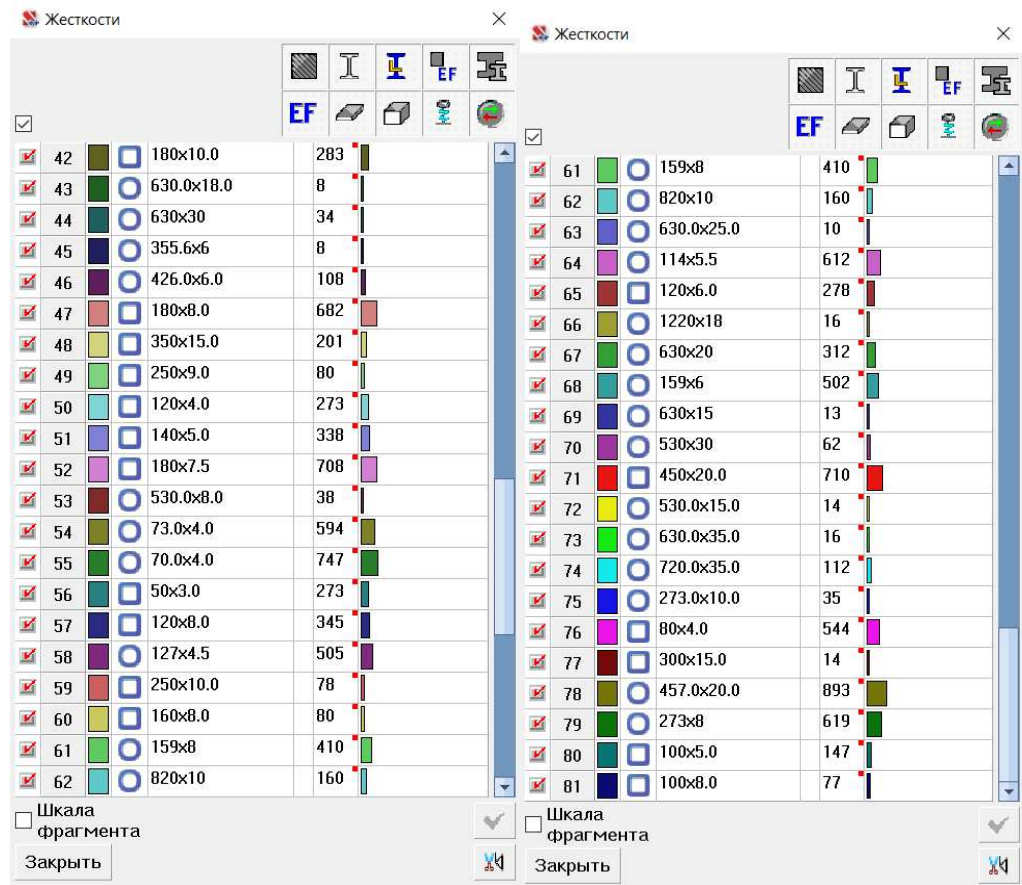
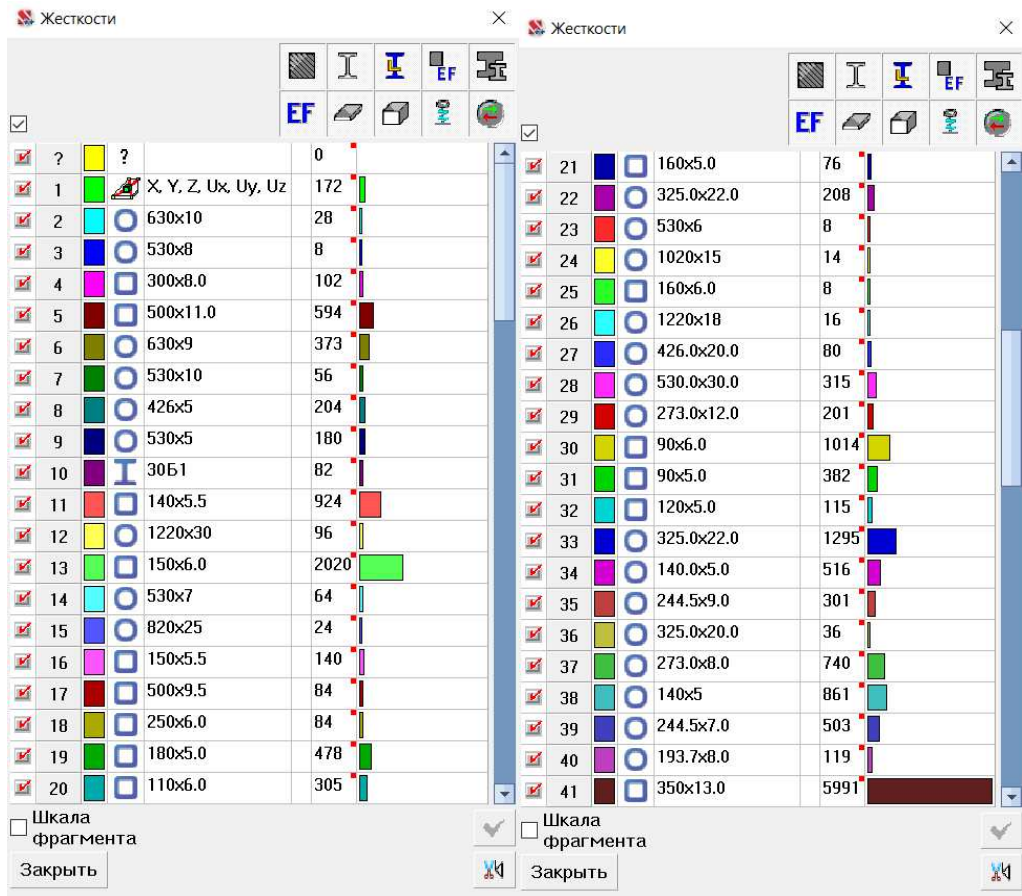


Рисунок 53 – Окончательно принятые жесткости

### 2.2.3 Анализ напряженно-деформированного состояния каркаса

В соответствии с [4] максимально предельные допустимые вертикальные прогибы при пролете 104,2 метра составляют

$$\frac{l}{300} = \frac{104,2}{300} = 0,347 \text{ м (347 мм)}.$$

Полученный вертикальный максимальный прогиб после окончательного программного и ручного изменения сечений составляет 332,55 мм и не превышает предельно допустимого (Рисунок 54).

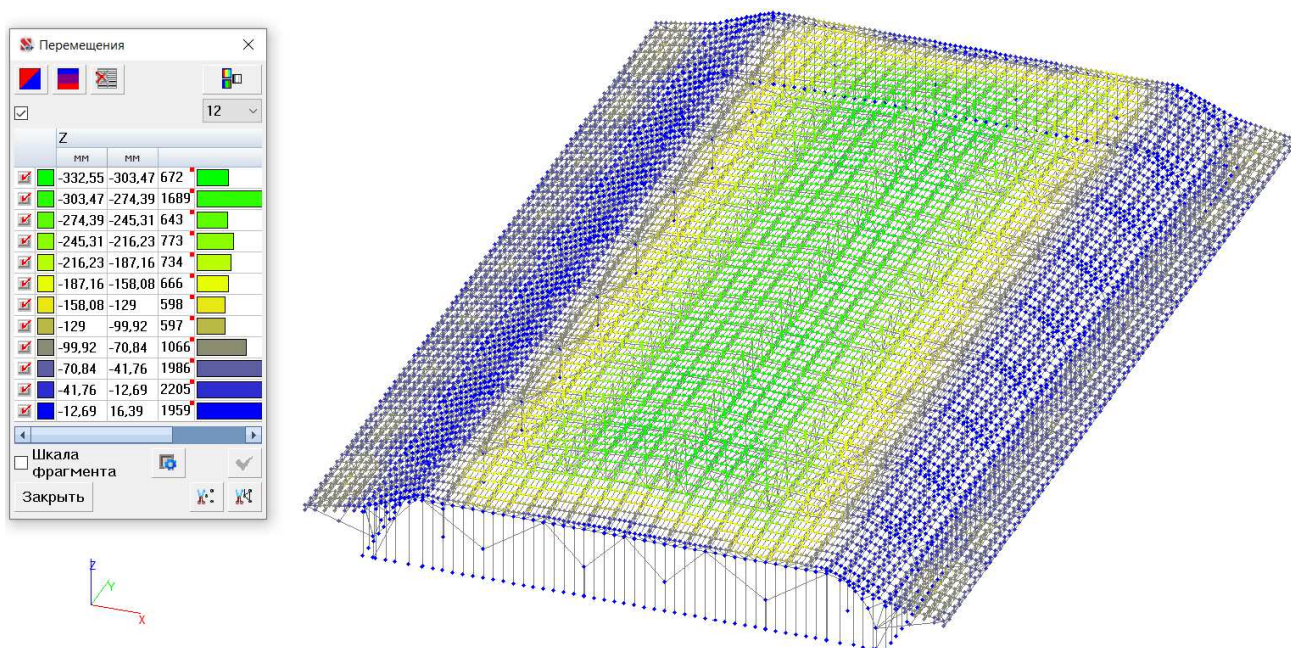


Рисунок 54 – Вертикальные перемещения элементов каркаса с консолями

Анализ усилий, возникающих в элементах каркаса производится с помощью постпроцессора расчетных сочетаний усилий в ПК SCAD.

Изгибающие моменты, продольные и поперечные силы, возникающие при расчете каркаса на основные нагрузки показаны на рисунках 55-57.



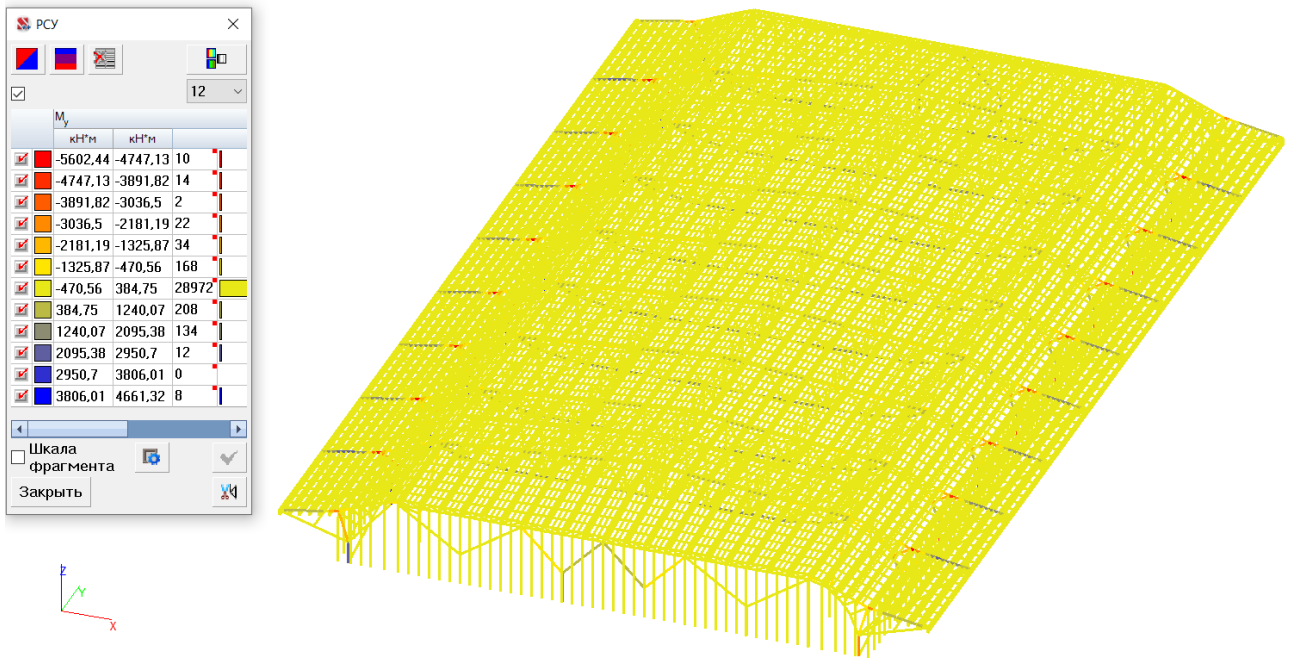


Рисунок 55 – Изгибающие моменты, возникающие в элементах каркаса с консолями

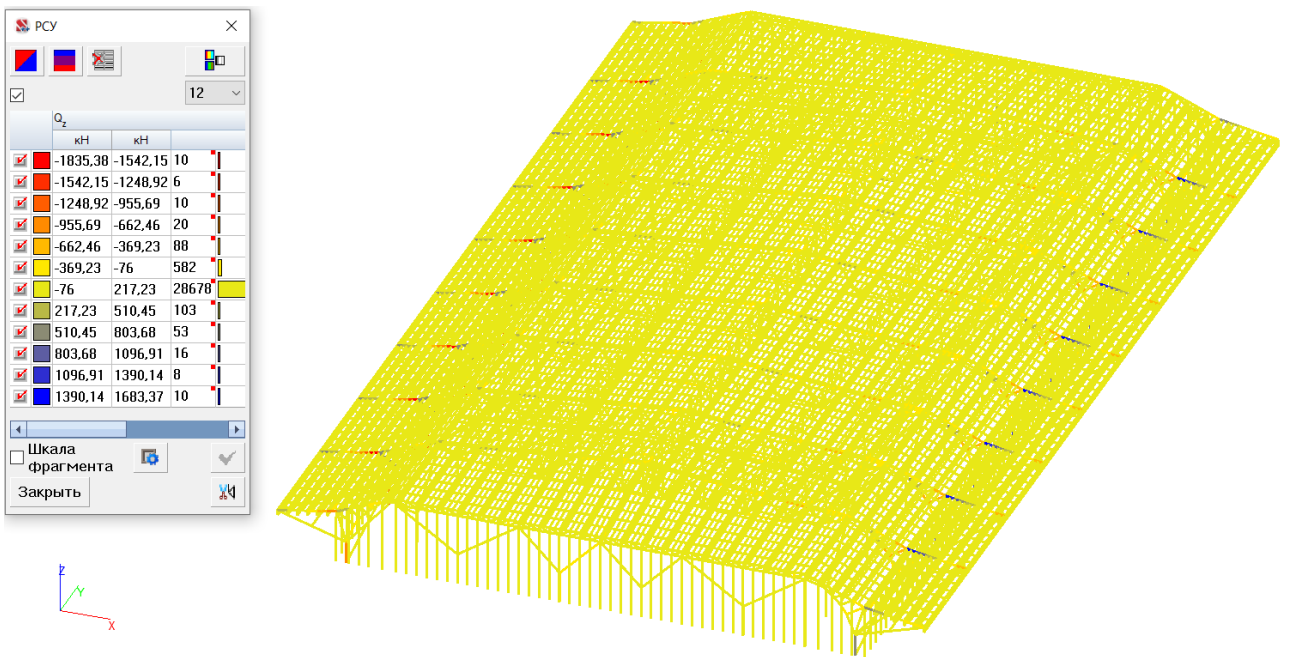


Рисунок 56 – Поперечные силы, возникающие в элементах каркаса с консолями

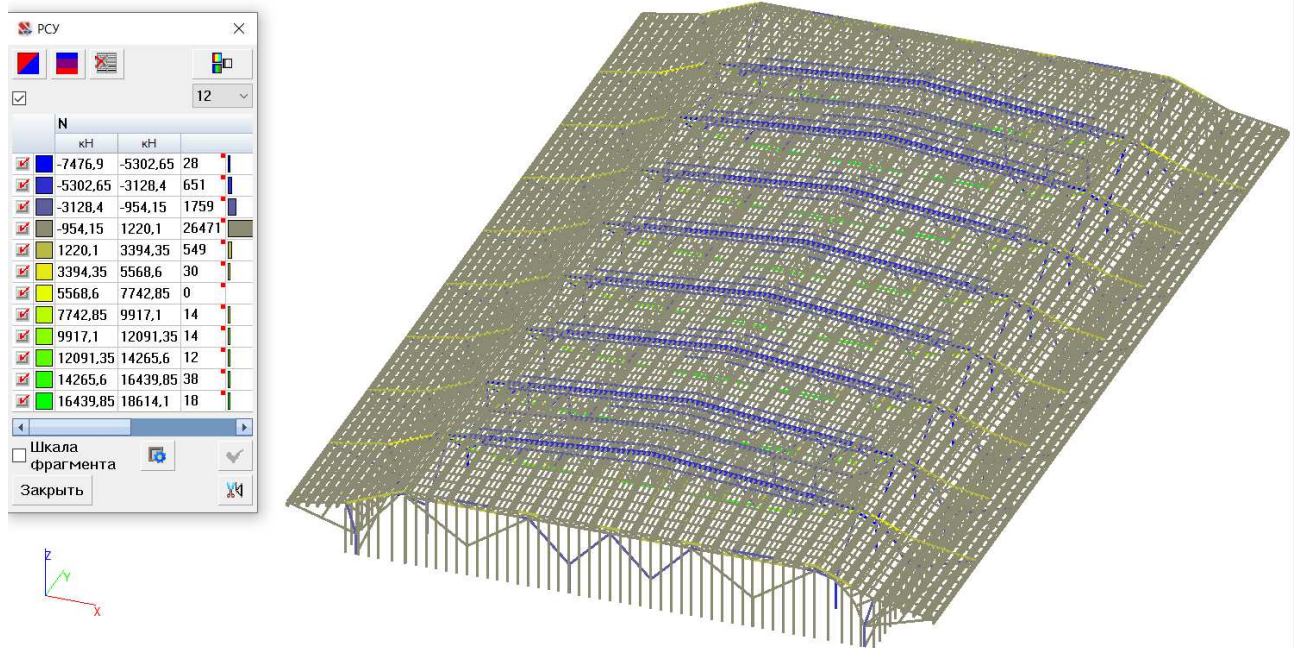


Рисунок 57 – Продольные силы, возникающие в элементах каркаса с консолями

## 2.3 Расчет каркаса без консолей на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета

### 2.3.1 Задание комбинаций нагрузок и РСУ

В варианте каркаса без консолей задание комбинаций нагрузок и РСУ аналогично варианту каркаса с консолями, см. п. 2.2.1.

### 2.3.2 Проверка подобранных сечений

Произведем проверку стали, приняв жесткости элементов, подобранные для первого варианта каркаса (с консолями).

Для некоторых элементов второго варианта каркаса критический фактор при расчете с подобранными жесткостями больше единицы (Рисунок 58), это означает что данные элементы не удовлетворяют требованиям прочности, гибкости или устойчивости.

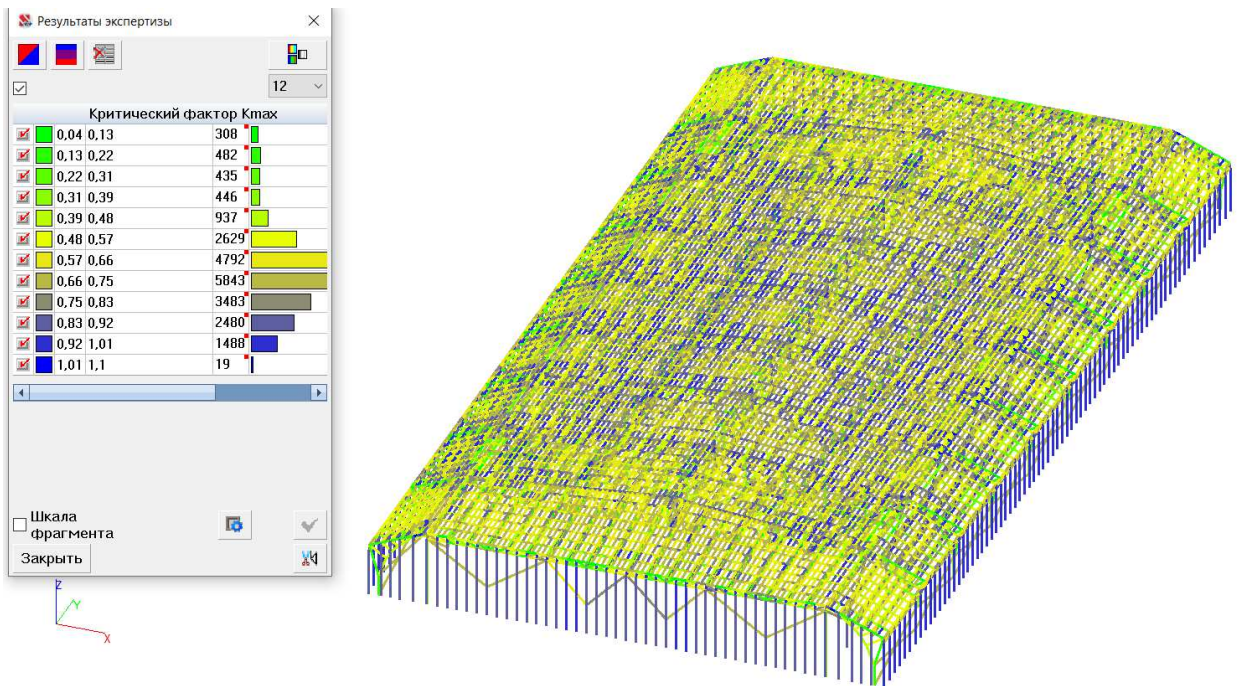


Рисунок 58 – Критический фактор при подобранных сечениях

Произведем подбор сечений в ПК SCAD для элементов с критическим фактором больше 1. Из результатов подбора в ПК SCAD (Рисунок 59) видно, что для некоторых элементов сечение увеличивается почти в 2 раза.

Группа унификации обрешетка 3	✓	Круглые сварные трубы по ГОСТ Р 58064-2018 273.0x12.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 273.0x12.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 530.0x6.0
Группа унификации обрешетка 14	✓	Трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91 159x8	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 159.0x8.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 273.0x4.5
Группа унификации обрешетка 15	✓	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 244.5x7.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 244.5x7.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 325.0x4.5
Группа унификации обрешетка 17	✓	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 273.0x8.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 273.0x8.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 406.4x5.5
Группа унификации обрешетка 18	✓	Трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91 159x7	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 159.0x7.0	Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015 244.5x3.2

Рисунок 59 – Результаты подбора сечений в ПК SCAD

### 2.3.3 Анализ напряженно-деформированного состояния каркаса

Максимально предельные допустимые вертикальные прогибы [4] при пролете 104,2 метра составляют 347 мм. Полученный вертикальный максимальный прогиб после изменения сечений составляет 335,28 мм и не превышает предельно допустимого (Рисунок 60).

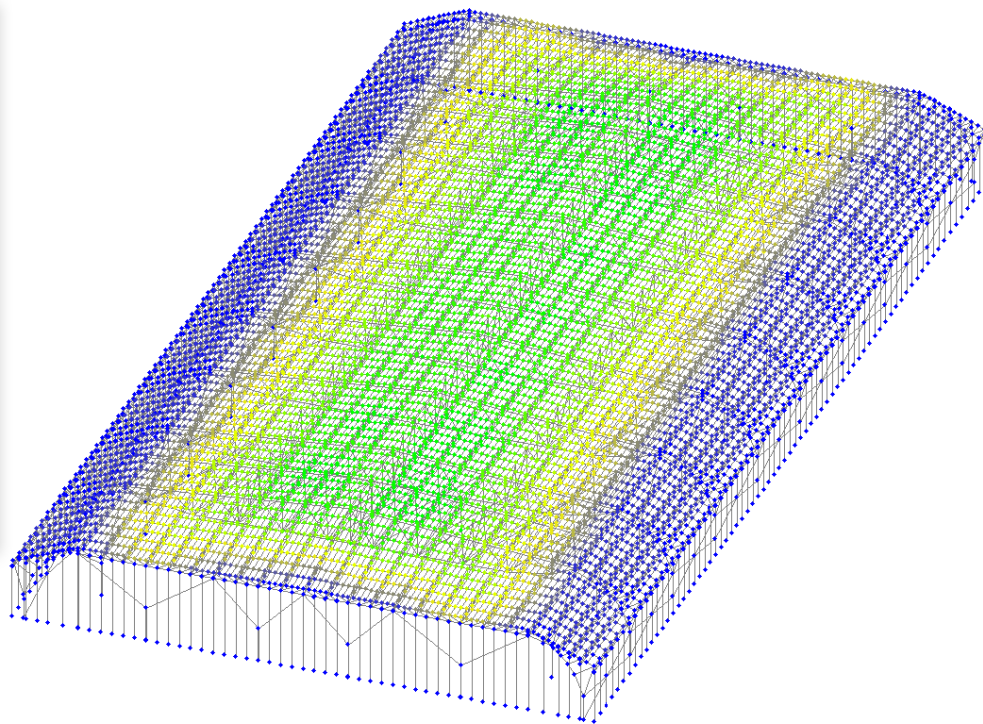
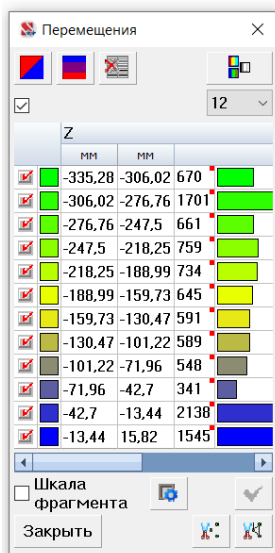


Рисунок 60 – Вертикальные перемещения элементов каркаса без консолей

Максимальные изгибающие моменты, продольные и поперечные силы возникающий при расчета каркаса на основные нагрузки показаны на рисунках 61-63.

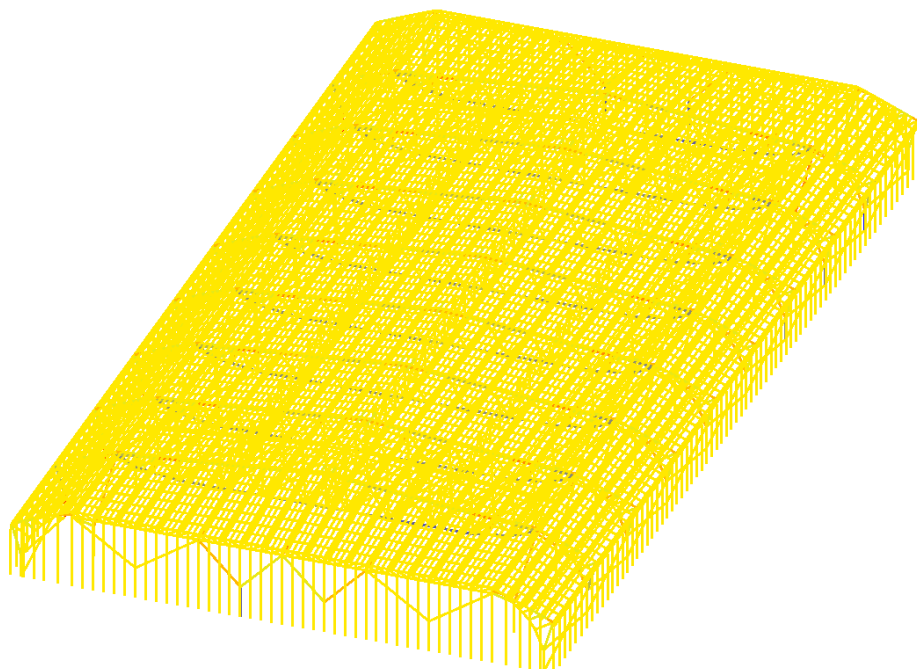
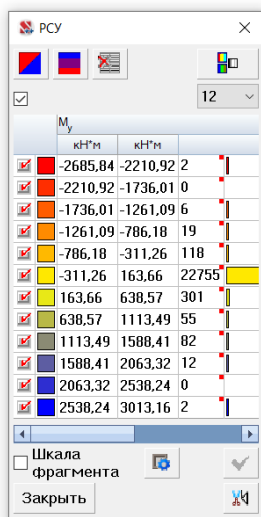


Рисунок 61 – Изгибающие моменты, возникающие в элементах каркаса без консолей

PCU			
Q <sub>z</sub>			
	кН	кН	
✓	-752,38	-629,39	4
✓	-629,39	-506,4	0
✓	-506,4	-383,41	20
✓	-383,41	-260,42	15
✓	-260,42	-137,43	166
✓	-137,43	-14,44	3669
✓	-14,44	108,55	19152
✓	108,55	231,54	276
✓	231,54	354,53	24
✓	354,53	477,52	22
✓	477,52	600,51	0
✓	600,51	723,5	4

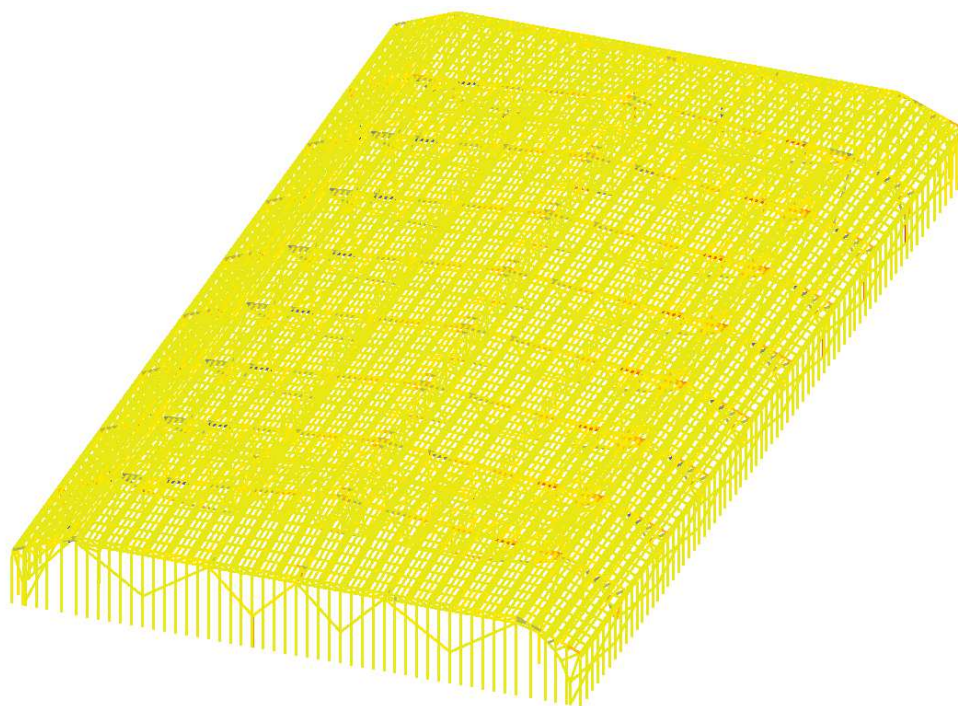


Рисунок 62 – Поперечные силы, возникающие в элементах каркаса без консолей

PCU			
N			
	кН	кН	
✓	-7253,65	-5155,35	38
✓	-5155,35	-3057,05	674
✓	-3057,05	-958,74	1784
✓	-958,74	1139,56	20510
✓	1139,56	3237,86	250
✓	3237,86	5336,17	0
✓	5336,17	7434,47	0
✓	7434,47	9532,77	14
✓	9532,77	11631,07	14
✓	11631,07	13729,38	10
✓	13729,38	15827,68	40
✓	15827,68	17925,98	18

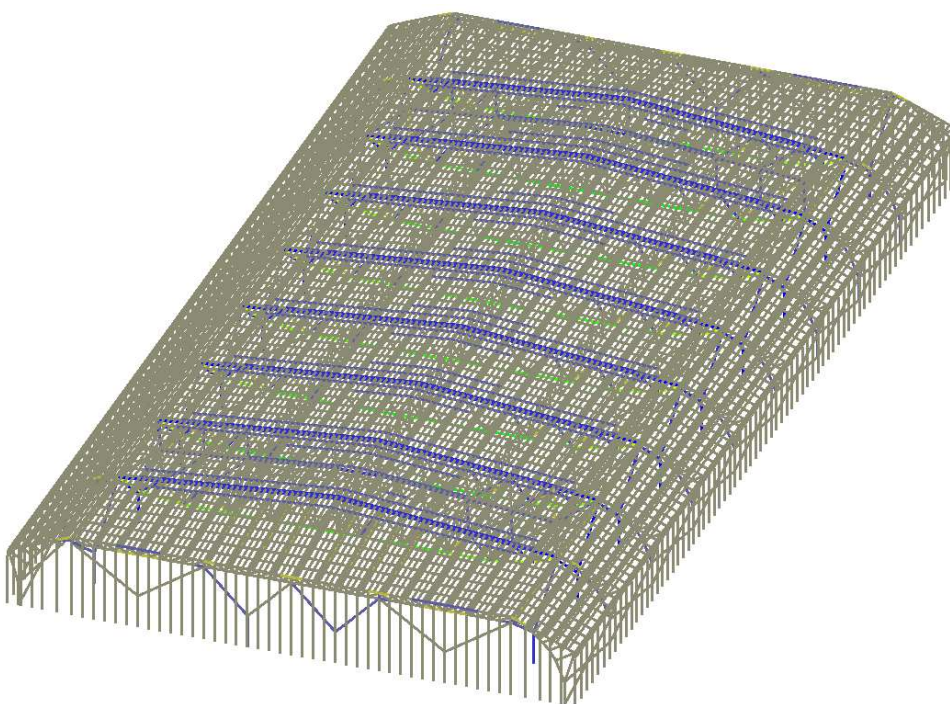


Рисунок 63 – Продольные силы, возникающие в элементах каркаса без консолей

Для того, чтобы понять, как влияет учет снеговой и ветровой нагрузки на консольные вылеты на усилия, возникающие в элементах каркаса произведем расчет без учета данных нагрузок.

## 2.4 Расчет двух вариантов каркаса на основные нагрузки без учета снеговых и ветровых нагрузок

Уберем снеговую и ветровую нагрузки из активных загрузок в задании расчетных сочетаний усилий (Рисунок 64).

Расчетные сочетания усилий и перемещений

№	Активное нагружение	Активное нагружение в РСР	Наименование	Тип загрузки	Вид нагрузки	Знакопеременные	Участуют в групповых операциях			Коеф. надежности	Доля длительности
							Объединения	Взаимоисключения	Сопутствия		
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	собственный вес	Постоянные нагр.	Вес металлических	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,05	1
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	снег. 1 вариант	Кратковременн.	Полные снегов.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0,7
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	снег. 2 вариант	Кратковременн.	Полные снегов.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0,7
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ветер X	Кратковременн.	Ветровые нагру.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ветер -Y	Кратковременн.	Ветровые нагру.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нагрузка на кровлю	Постоянные нагр.	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нагрузка на факвер	Постоянные нагр.	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	пульсация X	Кратковременн.	Ветровые нагру.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	пульсация Y	Кратковременн.	Ветровые нагру.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0

Рисунок 64 – Расчетные сочетания усилий без учета снеговой и ветровой нагрузок

Максимальные изгибающие моменты, продольные и поперечные силы возникающий при расчета каркаса на основные нагрузки без учета снеговых и ветровых показаны на рисунках 65-70.

Максимальный изгибающий момент в варианте каркаса с консолями составляет 2088,28 кНхм (Рисунок 65), в варианте каркаса без консолей – 1716,19 кНхм (Рисунок 66).

PCV

12

	кН*м	кН*м	
<input checked="" type="checkbox"/>	-2088,28	-1767,43	4
<input checked="" type="checkbox"/>	-1767,43	-1446,57	20
<input checked="" type="checkbox"/>	-1446,57	-1125,72	6
<input checked="" type="checkbox"/>	-1125,72	-804,86	20
<input checked="" type="checkbox"/>	-804,86	-484,01	72
<input checked="" type="checkbox"/>	-484,01	-163,15	252
<input checked="" type="checkbox"/>	-163,15	157,71	28824
<input checked="" type="checkbox"/>	157,71	478,56	144
<input checked="" type="checkbox"/>	478,56	799,42	166
<input checked="" type="checkbox"/>	799,42	1120,27	66
<input checked="" type="checkbox"/>	1120,27	1441,13	2
<input checked="" type="checkbox"/>	1441,13	1761,98	8

Шкала фрагмента

Заккрыть

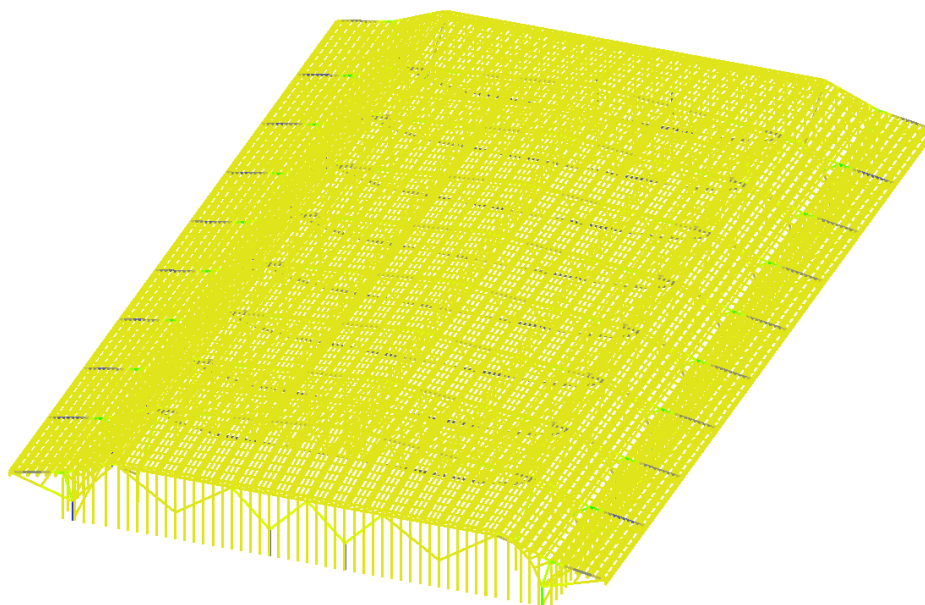


Рисунок 65 – Изгибающие моменты, возникающие в элементах каркаса с консолями при расчете на основные нагрузки без учета снеговой и ветровой нагрузок

PCU

12

	M <sub>y</sub>		
	кН*м	кН*м	
✓	-1679,54	-1396,56	2
✓	-1396,56	-1113,59	0
✓	-1113,59	-830,61	0
✓	-830,61	-547,63	24
✓	-547,63	-264,65	40
✓	-264,65	18,32	19587
✓	18,32	301,3	3528
✓	301,3	584,28	59
✓	584,28	867,26	82
✓	867,26	1150,23	28
✓	1150,23	1433,21	0
✓	1433,21	1716,19	2

Шкала фрагмента

Заккрыть

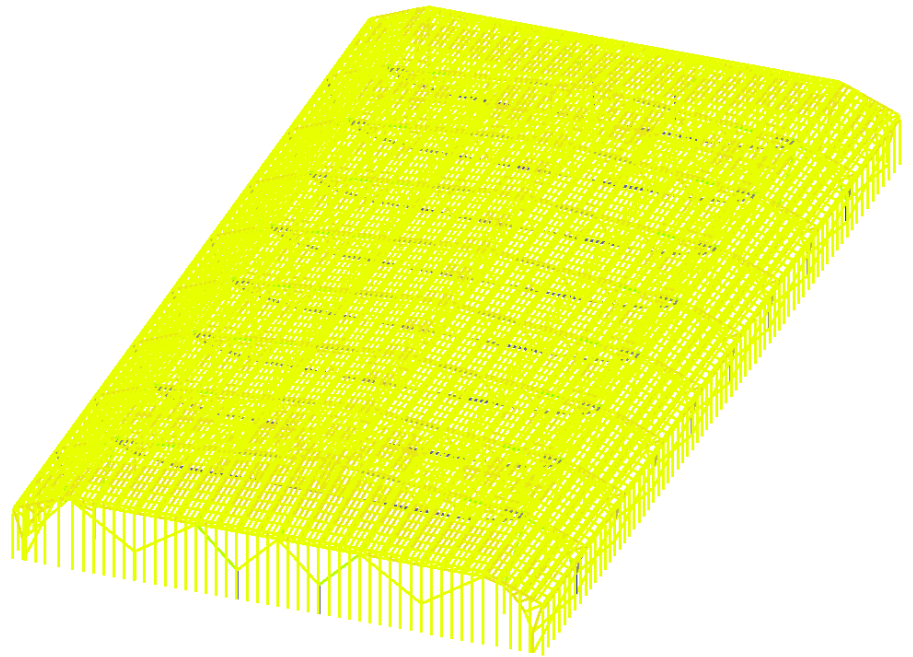


Рисунок 66 – Изгибающие моменты, возникающие в элементах каркаса без консолей при расчете на основные нагрузки без учета снеговой и ветровой нагрузок

Максимальная поперечная сила в варианте каркаса с консолями составляет 611,42 кН (Рисунок 67), в варианте каркаса без консолей – 459,08 кН (Рисунок 68).

PCU

12

	Q <sub>z</sub>		
	кН	кН	
✓	-611,42	-510,02	4
✓	-510,02	-408,62	24
✓	-408,62	-307,22	18
✓	-307,22	-205,82	56
✓	-205,82	-104,42	143
✓	-104,42	-3,02	8197
✓	-3,02	98,39	20875
✓	98,39	199,79	168
✓	199,79	301,19	57
✓	301,19	402,59	14
✓	402,59	503,99	24
✓	503,99	605,39	4

Шкала фрагмента

Заккрыть

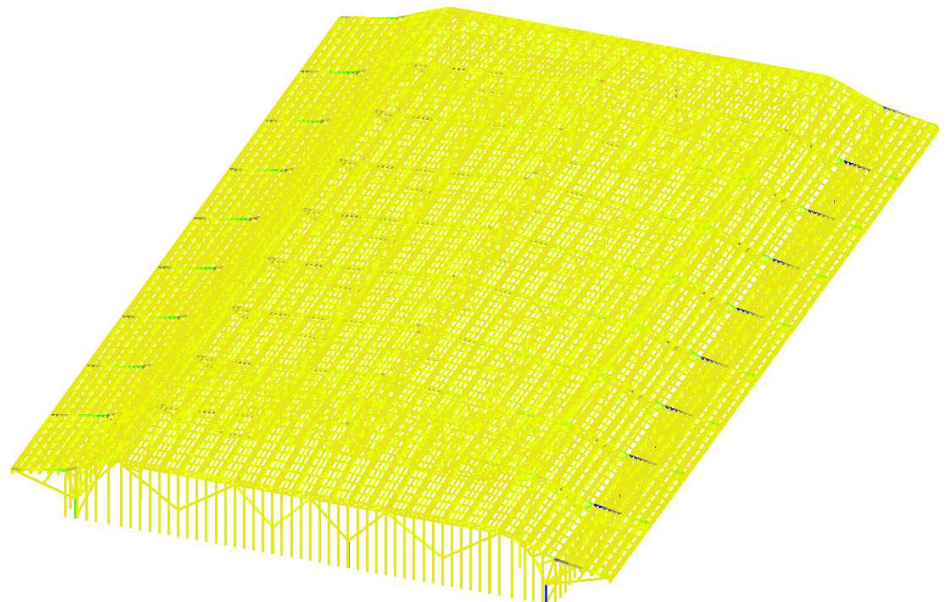


Рисунок 67 – Поперечные силы, возникающие в элементах каркаса с консолями при расчете на основные нагрузки без учета снеговой и ветровой нагрузок

PCU			
Q <sub>z</sub>			
	кН	кН	
✓	-459,08	-383,06	4
✓	-383,06	-307,04	0
✓	-307,04	-231,02	10
✓	-231,02	-155,01	28
✓	-155,01	-78,99	174
✓	-78,99	-2,97	7023
✓	-2,97	73,05	15842
✓	73,05	149,06	225
✓	149,06	225,08	38
✓	225,08	301,1	4
✓	301,1	377,12	0
✓	377,12	453,14	4

Шкала фрагмента  
 Закрывать

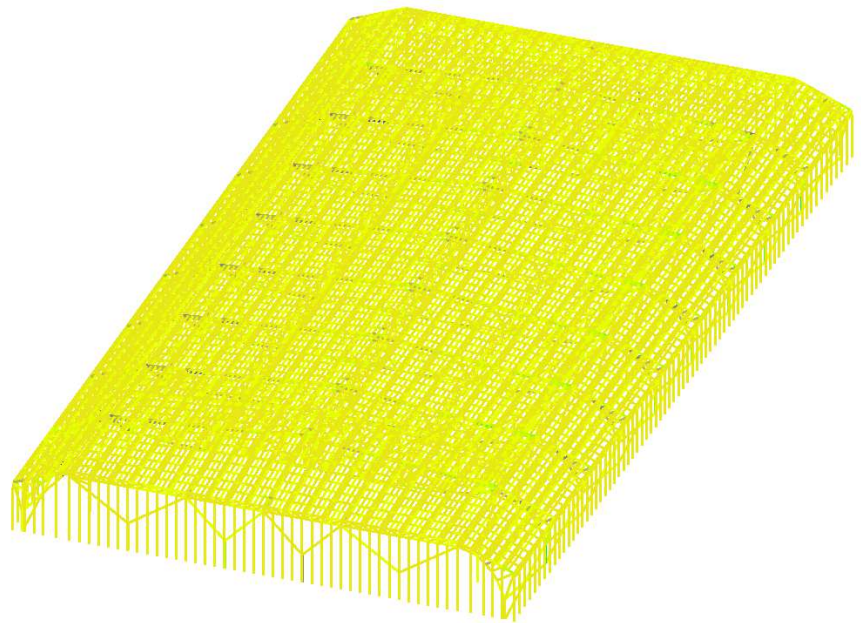


Рисунок 68 – Поперечные силы, возникающие в элементах каркаса без консолей при расчете на основные нагрузки без учета снеговой и ветровой нагрузок

Максимальная продольная сила в варианте каркаса с консолями составляет 11571,25 кН (Рисунок 69), в варианте каркаса без консолей – 11257,05 кН (Рисунок 70).

PCU			
N			
	кН	кН	
✓	-4545,72	-3202,64	30
✓	-3202,64	-1859,55	666
✓	-1859,55	-516,47	2064
✓	-516,47	826,61	26328
✓	826,61	2169,69	396
✓	2169,69	3512,77	4
✓	3512,77	4855,85	0
✓	4855,85	6198,93	12
✓	6198,93	7542,01	16
✓	7542,01	8885,09	16
✓	8885,09	10228,17	37
✓	10228,17	11571,25	15

Шкала фрагмента  
 Закрывать

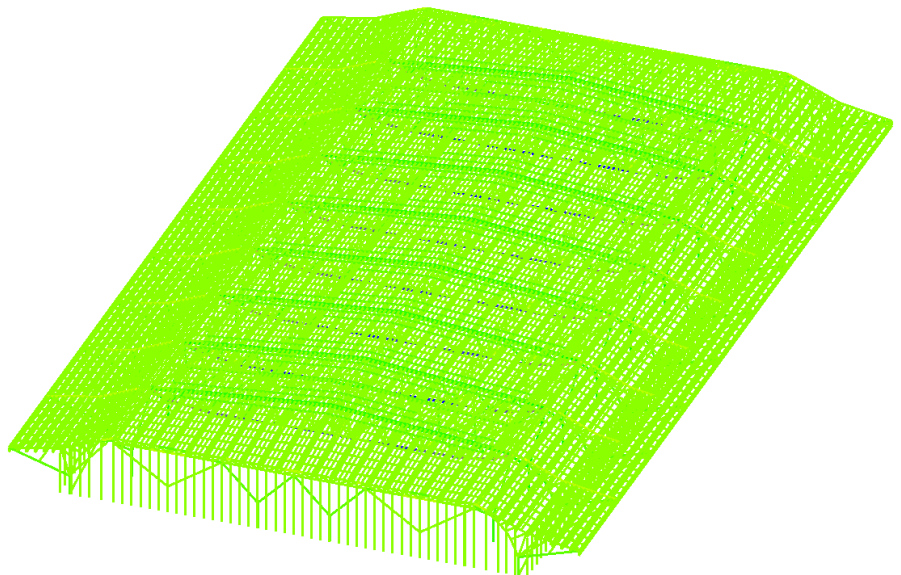


Рисунок 69 – Продольные силы, возникающие в элементах каркаса с консолями при расчете на основные нагрузки без учета снеговой и ветровой нагрузок



PCU			
N			
	кН	кН	
<input checked="" type="checkbox"/>	-4439,84	-3131,77	45
<input checked="" type="checkbox"/>	-3131,77	-1823,69	679
<input checked="" type="checkbox"/>	-1823,69	-515,62	2064
<input checked="" type="checkbox"/>	-515,62	792,45	20320
<input checked="" type="checkbox"/>	792,45	2100,53	148
<input checked="" type="checkbox"/>	2100,53	3408,6	0
<input checked="" type="checkbox"/>	3408,6	4716,68	0
<input checked="" type="checkbox"/>	4716,68	6024,75	12
<input checked="" type="checkbox"/>	6024,75	7332,83	16
<input checked="" type="checkbox"/>	7332,83	8640,9	13
<input checked="" type="checkbox"/>	8640,9	9948,97	43
<input checked="" type="checkbox"/>	9948,97	11257,05	12

Шкала фрагмента  
 Закрывать

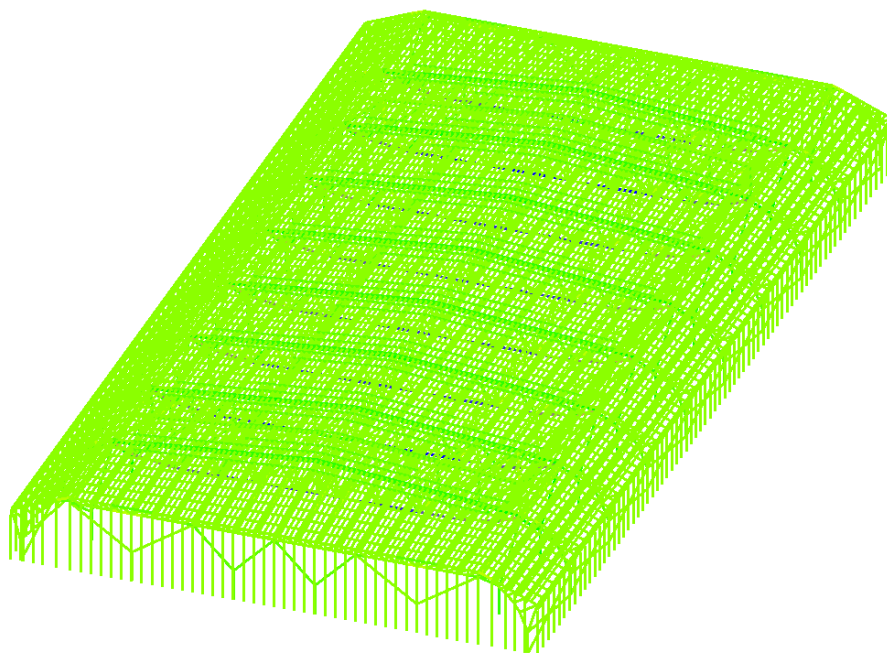


Рисунок 70 – Продольные силы, возникающие в элементах каркаса без консолей при расчете на основные нагрузки без учета снеговой и ветровой нагрузок

Сопоставление двух варианта каркаса при расчете без учета снеговых и ветровых нагрузок приведено в п.2.5.

## 2.5 Сопоставление результатов расчета каркаса в двух вариантах. Анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса. Техничко-экономическое обоснование вариантов каркаса

Для удобства и наглядности анализа напряженно-деформированного состояния элементов каркаса, отфрагментируем максимальные усилия, возникающие в элементах каркаса.

Сравнение усилий, возникающих в элементах при расчете на основные нагрузки приведено на рисунках 71-76.

M <sub>y</sub>		
кН*м	кН*м	
-5602,44	-4747,13	10
-4747,13	-3891,82	14
-3891,82	-3036,5	2
-3036,5	-2181,19	22
-2181,19	-1325,87	34
-1325,87	-470,56	168
-470,56	384,75	28972
384,75	1240,07	208
1240,07	2095,38	134
2095,38	2950,7	12
2950,7	3806,01	0
3806,01	4661,32	8

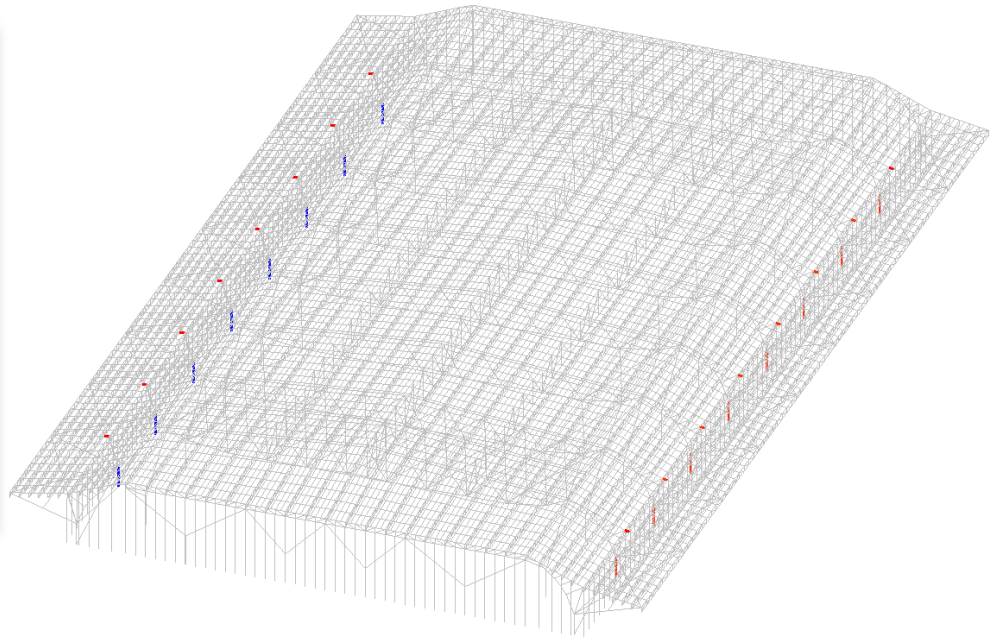


Рисунок 71 – Сравнение изгибающих моментов (каркас с консолями)

M <sub>y</sub>		
кН*м	кН*м	
-2685,84	-2210,92	2
-2210,92	-1736,01	0
-1736,01	-1261,09	6
-1261,09	-786,18	19
-786,18	-311,26	118
-311,26	163,66	22755
163,66	638,57	301
638,57	1113,49	55
1113,49	1588,41	82
1588,41	2063,32	12
2063,32	2538,24	0
2538,24	3013,16	2

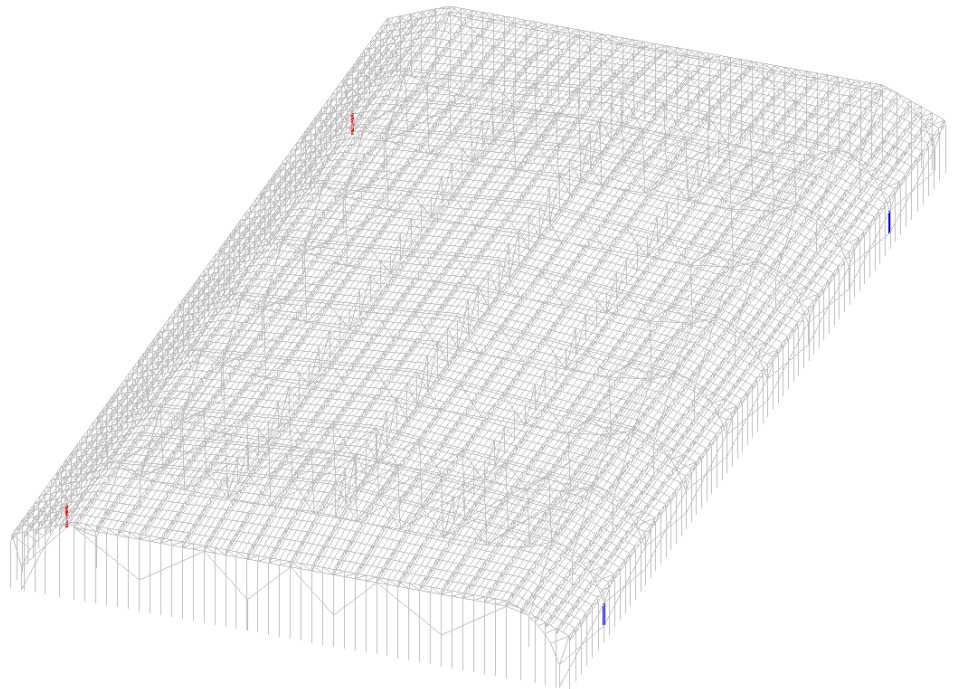


Рисунок 72 – Сравнение изгибающих моментов (каркас без консолей)

В варианте каркаса с консолями наибольший изгибающий момент (Рисунок 71) возникает в месте крепления консоли к решетчатой стойке (5602,44 кНхм), а также в опорной части решетчатой стойки (4661,32 кНхм).

В безконсольном варианте каркаса (Рисунок 72) наибольший изгибающий момент возникает в опорной части решетчатых стоек и составляет 3013,16 кНхм.

Q <sub>z</sub>		
	кН	кН
✓	-1835,38	-1542,15
✓	-1542,15	-1248,92
✓	-1248,92	-955,69
	-955,69	-662,46
	-662,46	-369,23
	-369,23	-76
	-76	217,23
	217,23	510,45
	510,45	803,68
✓	803,68	1096,91
✓	1096,91	1390,14
✓	1390,14	1683,37

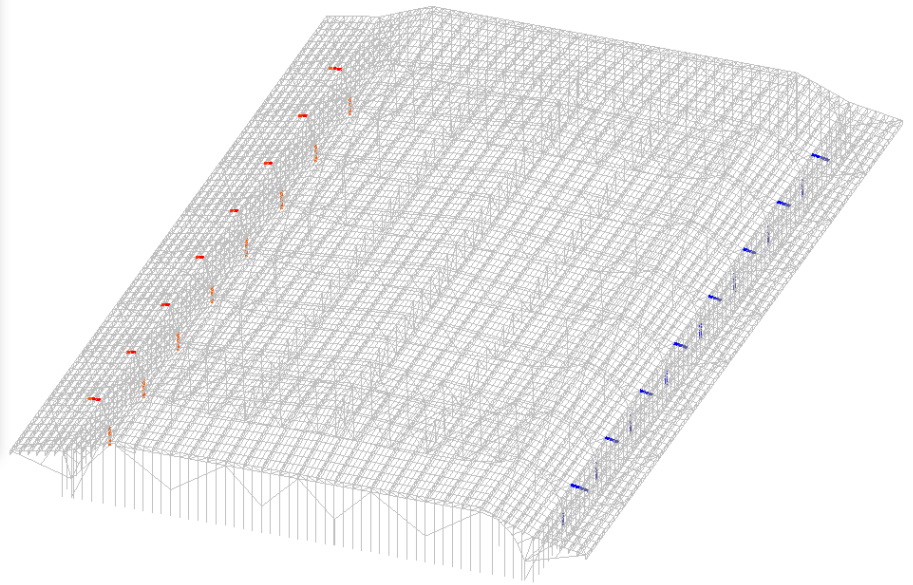


Рисунок 73 – Сравнение поперечных сил (каркас с консолями)

Q <sub>z</sub>		
	кН	кН
✓	-752,38	-629,39
	-629,39	-506,4
	-506,4	-383,41
	-383,41	-260,42
	-260,42	-137,43
	-137,43	-14,44
	-14,44	108,55
	108,55	231,54
	231,54	354,53
	354,53	477,52
	477,52	600,51
✓	600,51	723,5

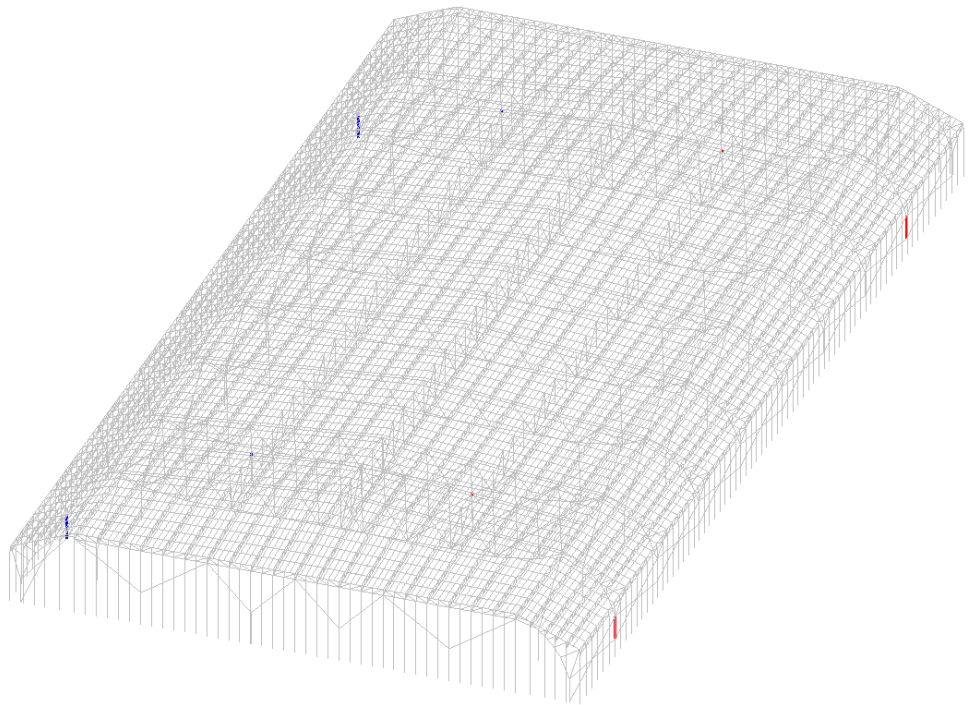


Рисунок 74 – Сравнение поперечных сил (каркас без консолей)

Наибольшая поперечная сила в варианте каркаса с консолями возникает аналогично в месте крепления консолей к решетчатым стойкам и составляет 1835,38 кН (Рисунок 73), в безконсольном варианте каркаса – в опорной части решетчатых стоек и составляет 752,38 кН (Рисунок 74).

PCV			
12			
N			
	кН	кН	
[-]	-7476,9	-5302,65	28
[-]	-5302,65	-3128,4	651
[-]	-3128,4	-954,15	1759
[-]	-954,15	1220,1	26471
[+]	1220,1	3394,35	549
[+]	3394,35	5568,6	30
[+]	5568,6	7742,85	0
[+]	7742,85	9917,1	14
[+]	9917,1	12091,35	14
[+]	12091,35	14265,6	12
[+]	14265,6	16439,85	38
[+]	16439,85	18614,1	18

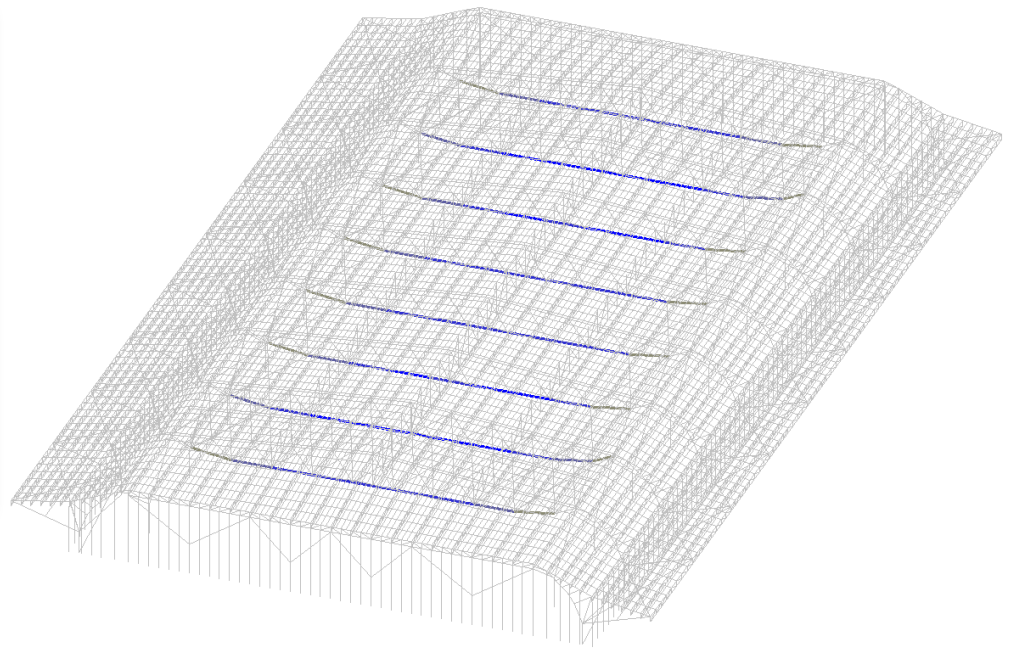


Рисунок 75 – Сравнение продольных сил (каркас с консолями)

PCV			
12			
N			
	кН	кН	
[-]	-7253,65	-5155,35	38
[-]	-5155,35	-3057,05	674
[-]	-3057,05	-958,74	1784
[-]	-958,74	1139,56	20510
[+]	1139,56	3237,86	250
[+]	3237,86	5336,17	0
[+]	5336,17	7434,47	0
[+]	7434,47	9532,77	14
[+]	9532,77	11631,07	14
[+]	11631,07	13729,38	10
[+]	13729,38	15827,68	40
[+]	15827,68	17925,98	18

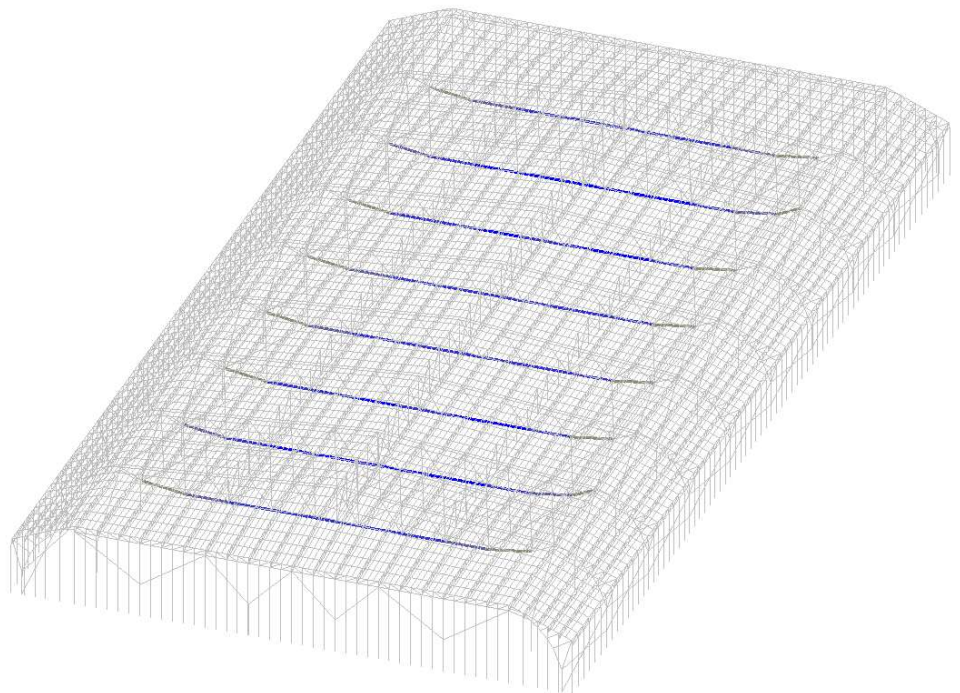


Рисунок 76 – Сравнение продольных сил (каркас без консолей)

Наибольшая продольная сила в двух случаях возникает в нижнем поясе фермы и составляет 18614,1 и 17925,98 кН для первого и второго варианта каркаса соответственно (Рисунок 75,76).

Сравнение усилий, возникающих в элементах при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок приведено на рисунках 77-82.

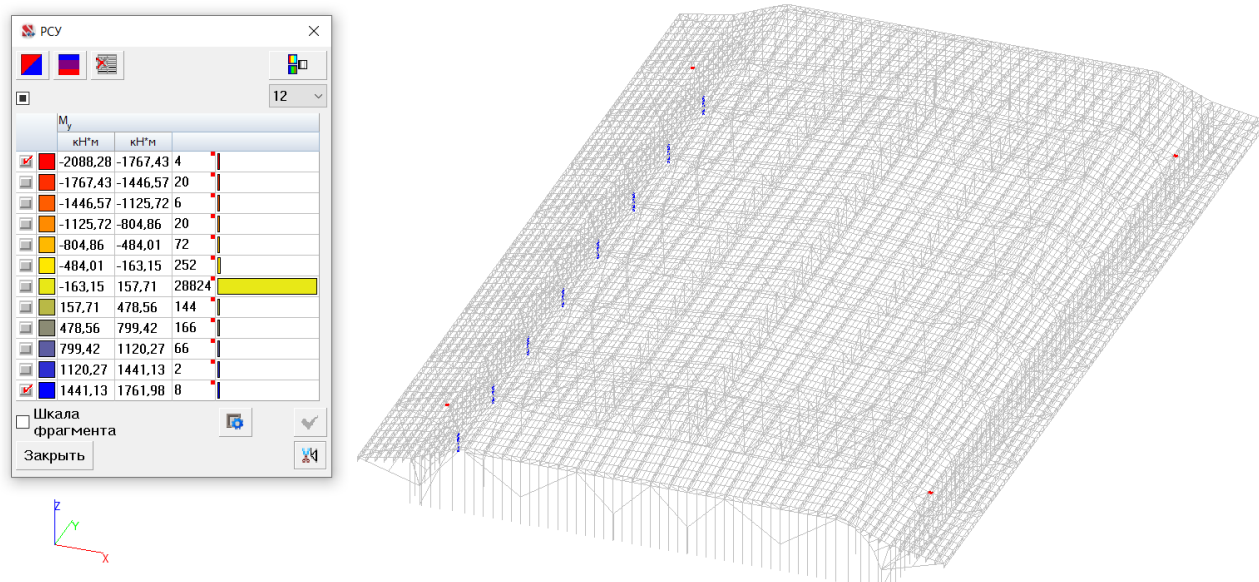


Рисунок 77 – Сравнение изгибающих моментов при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (каркас с консолями)

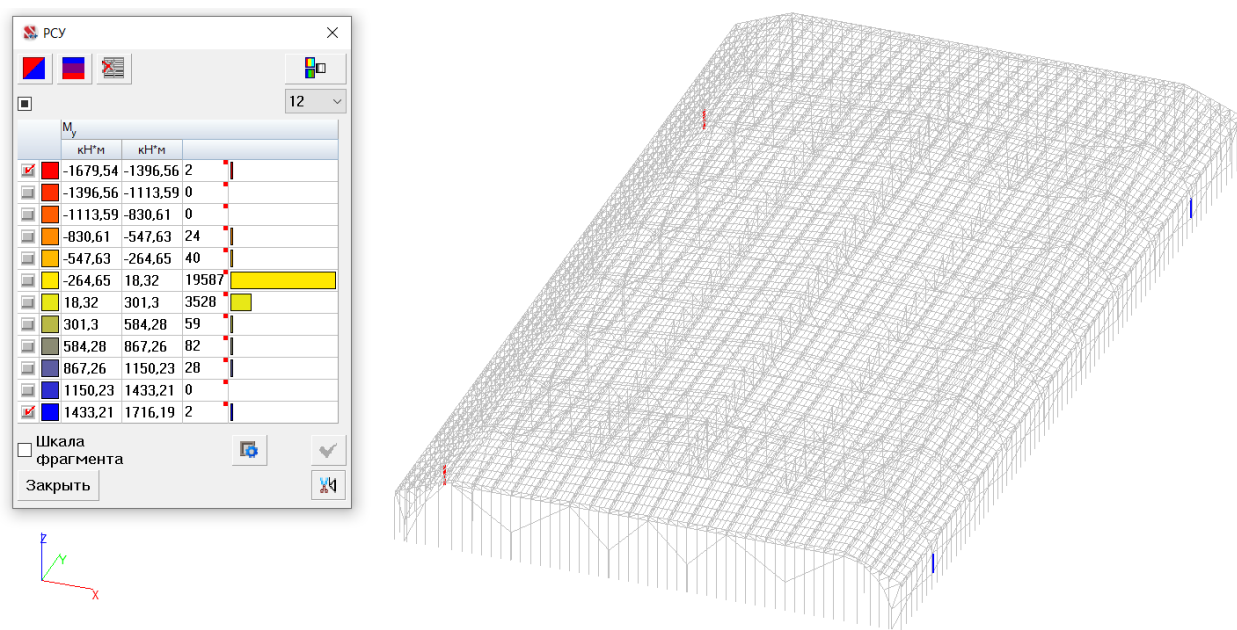


Рисунок 78 – Сравнение изгибающих моментов при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (каркас без консолей)

В варианте каркаса с консолями наибольший изгибающий момент возникает в месте крепления консоли к решетчатой стойке и составляет 2088,28 кНхм, наибольший изгибающий момент в решетчатой стойке составляет 1761,98 кНхм (Рисунок 77). Наибольший изгибающий момент в варианте каркаса без консолей возникает в элементе решетчатой стойки составляет 1716,19 кНхм (Рисунок 78).

Q <sub>z</sub>		
кН	кН	
611,42	-510,02	4
510,02	-408,62	24
408,62	-307,22	18
307,22	-205,82	56
205,82	-104,42	143
104,42	-3,02	8197
3,02	98,39	20875
98,39	199,79	168
199,79	301,19	57
301,19	402,59	14
402,59	503,99	24
503,99	605,39	4

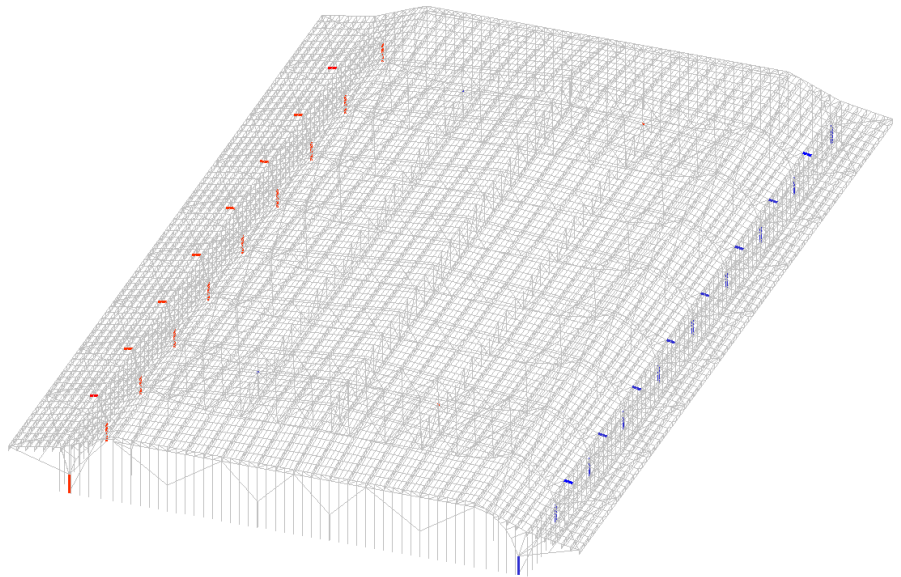


Рисунок 79 – Сравнение поперечных сил при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (каркас с консолями)

Q <sub>z</sub>		
кН	кН	
459,08	-383,06	4
383,06	-307,04	0
307,04	-231,02	10
231,02	-155,01	28
155,01	-78,99	174
78,99	-2,97	7023
2,97	73,05	15842
73,05	149,06	225
149,06	225,08	38
225,08	301,1	4
301,1	377,12	0
377,12	453,14	4

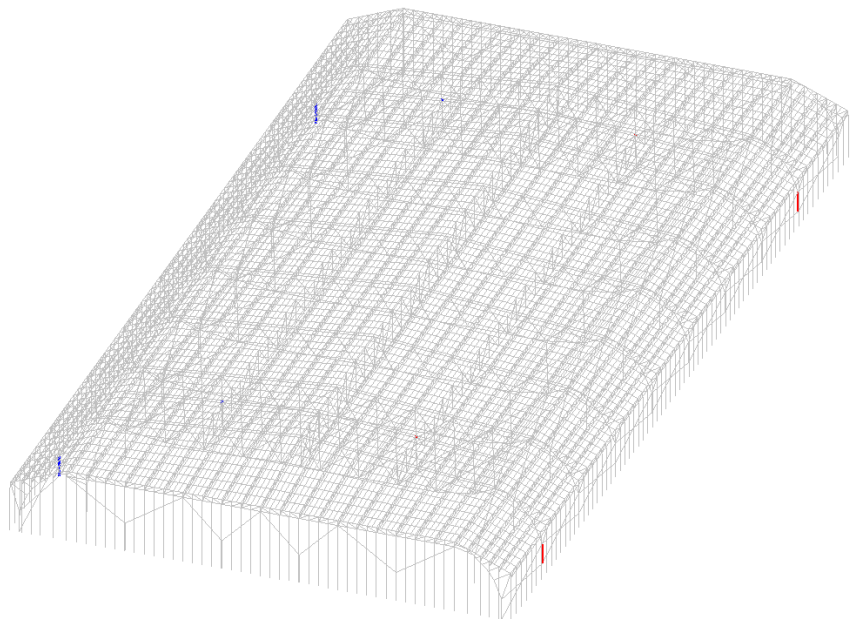


Рисунок 80 – Сравнение поперечных сил при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (каркас без консолей)

В варианте каркаса с консолями наибольшая поперечная сила возникает в месте крепления консоли к решетчатой стойке и составляет 611,42 кН, наибольшая поперечная сила в решетчатой стойке составляет 464,83 кН (Рисунок 79). Наибольшая поперечная сила в варианте каркаса без консолей возникает в элементе решетчатой стойки составляет 459,08 кНхм (Рисунок 80).

PCU			
16			
N			
	кН	кН	
	-4545,72	-3538,41	18
	-3538,41	-2531,09	401
	-2531,09	-1523,78	383
	-1523,78	-516,47	1958
	-516,47	490,84	25868
	490,84	1498,15	820
	1498,15	2505,46	40
	2505,46	3512,77	0
	3512,77	4520,08	0
	4520,08	5527,39	8
	5527,39	6534,7	8
	6534,7	7542,01	12
	7542,01	8549,32	9
	8549,32	9556,63	19
	9556,63	10563,94	28
	10563,94	11571,25	12

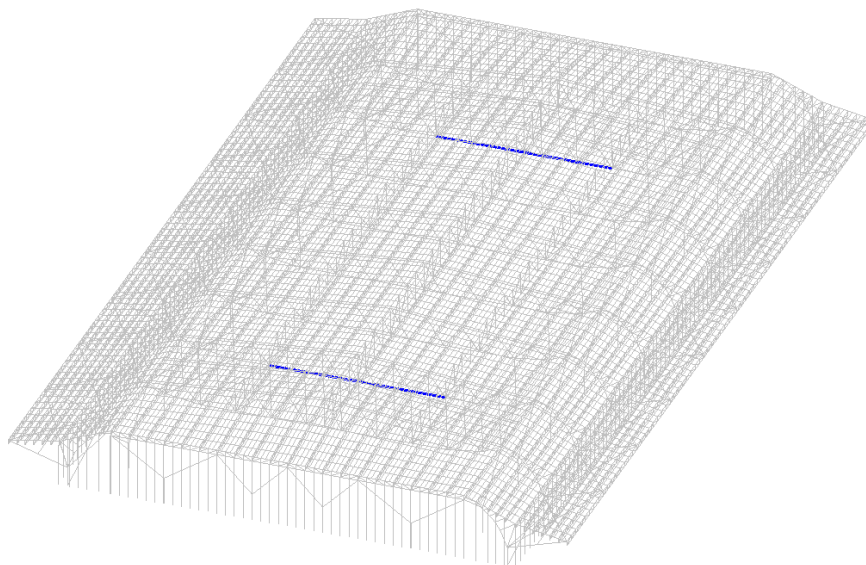


Рисунок 81 – Сравнение продольных сил при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (каркас с консолями)

PCU			
12			
N			
	кН	кН	
	-4439,84	-3131,77	45
	-3131,77	-1823,69	679
	-1823,69	-515,62	2064
	-515,62	792,45	20320
	792,45	2100,53	148
	2100,53	3408,6	0
	3408,6	4716,68	0
	4716,68	6024,75	12
	6024,75	7332,83	16
	7332,83	8640,9	13
	8640,9	9948,97	43
	9948,97	11257,05	12

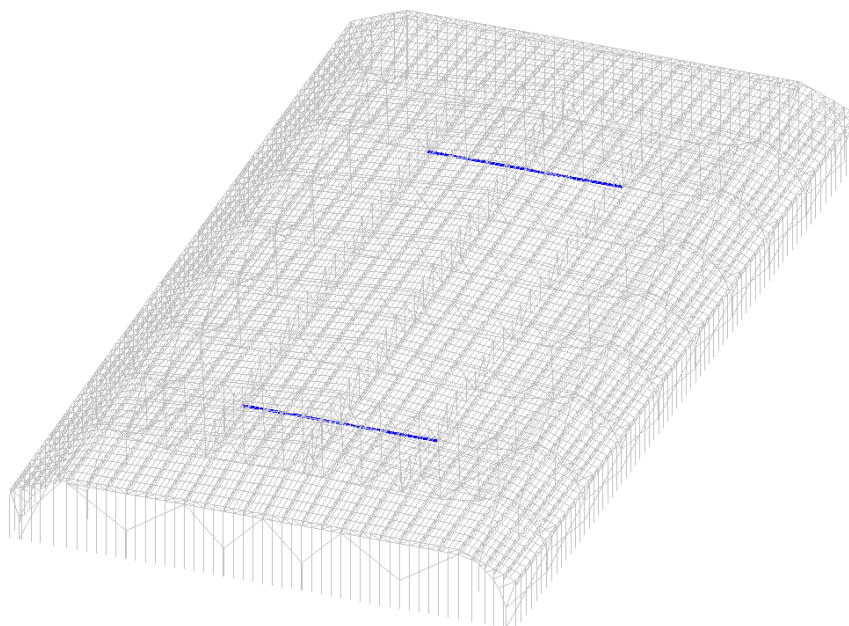


Рисунок 82 – Сравнение продольных сил при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (каркас без консолей)

Наибольшая продольная сила возникает для двух вариантов каркаса в нижнем поясе фермы.

В варианте каркаса с консолями наибольшая продольная сила составляет 11571,25 кН (Рисунок 81), в варианте каркаса без консолей наибольшая продольная сила составляет 11257,05 кН (Рисунок 82).

Сравним расход стали двух вариантов каркаса. В варианте каркаса с консолями общая масса стали составляет 9157,24 т (Рисунок 83), в варианте каркаса без консолей – 7601,72 т (Рисунок 84). Разница по расходу стали составляет 1555,52 т.

Расход стали

По группам По группам (развернутая) Спецификация стали

Наименование профиля ГОСТ, ТУ	Наименование или марка металла ГОСТ, ТУ	Номер или размеры профиля	№ п.п.	Масса металла по элементам конструкции	Общая масса
				Прочие	
1	2	3	4	Т	Т
		530.0x30.0	87	432,81	432,81
		630.0x18.0	88	32,26	32,26
		630.0x25.0	89	58,83	58,83
		630.0x35.0	90	43,61	43,61
		720.0x35.0	91	88,36	88,36
	Итого:		92	1666,45	1666,45
Всего профиля:			93	1666,45	1666,45
Всего металла:			94	9157,24	9157,24
Всего металла по маркам С345			95	9157,24	9157,24

Отчет Таблица OK Справка

Рисунок 83 – Расход стали в варианте каркаса с консолями

Расход стали

По группам По группам (развернутая) Спецификация стали

Наименование профиля ГОСТ, ТУ	Наименование или марка металла ГОСТ, ТУ	Номер или размеры профиля	№ п.п.	Масса металла по элементам конструкции	Общая масса
				Прочие	
1	2	3	4	Т	Т
		530.0x30.0	84	199,29	199,29
		630.0x18.0	85	32,26	32,26
		630.0x25.0	86	58,83	58,83
		630.0x35.0	87	43,61	43,61
		720.0x35.0	88	15,8	15,8
	Итого:		89	1009,33	1009,33
Всего профиля:			90	1009,33	1009,33
Всего металла:			91	7601,72	7601,72
Всего металла по маркам С345			92	7601,72	7601,72

Отчет Таблица OK Справка

Рисунок 84 – Расход стали в варианте каркаса без консолей



Сведем в таблицу 5 сопоставление усилий, перемещений, расхода стали и критического фактора для двух вариантов каркаса при расчете на основные нагрузки.

Таблица 5 – Сопоставление двух вариантов каркаса по различным критериям

Критерий сравнения		Каркас с консолями	Каркас без консолей
Перемещения	Максимальное вертикальное перемещение, мм	332,55	335,28
	Максимальный изгибающий момент, кНм	-5602,44	3013,16
Усилия	Максимальный изгибающий момент в решетчатой стойке, кНм	4661,32	
	Максимальная поперечная сила, кН	-1835,38	-752,38
	Максимальная поперечная сила в решетчатой стойке, кН	-1218,97	
	Максимальная продольная сила, кН	18614,1	17925,98
Критический фактор	Количество элементов, вышедших из строя	0	20
	Количество «неопределенных» элементов	0	13
	Количество работающих элементов	29584	23309
Расход стали	Общая масса, Т	9157,24	7601,72

По таблице 5 можно увидеть, что перемещения для двух вариантов каркаса практически не различаются. В варианте каркаса без консолей возникают элементы, с критическим фактором больше 1. Для этих элементов ПК SCAD предлагает увеличить сечения приблизительно в 2 раза.

В то же время, усилия, возникающие в варианте каркаса с консолями больше. Для того, чтобы понять, как влияет наличие консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса был произведен расчет двух вариантов без учета снеговой и ветровой нагрузки. Снеговая и ветровая нагрузка, прикладываемая к консольным вылетам, может сильно влиять на НДС элементов.

Сопоставление усилий для двух вариантов каркаса при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузки приведены в таблице 6.

Анализируя таблицу 6 можно сделать вывод, что наличие или отсутствие консолей особо не влияет на НДС элементов каркаса. Усилия, возникающие в опорной части решетчатой стойки приблизительно одинаковые.

Таблица 6 – Сопоставление двух вариантов каркаса по максимальным усилиям при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузки

Критерий сравнения		Каркас с консолями	Каркас без консолей
Усилия	Максимальный изгибающий момент, кНхм	-2088,28	1716,19
	Максимальный изгибающий момент в решетчатой стойке, кНхм	1761,98	
	Максимальная поперечная сила, кН	-611,42	-459,08
	Максимальная поперечная сила в решетчатой стойке, кН	-464,83	
	Максимальная продольная сила, кН	11571,25	11257,05

Сопоставим наибольшие усилия (изгибающий момент и поперечная сила) решетчатой стойки для двух варианта каркаса при расчете на основные нагрузки и при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок (Таблица 7).

Таблица 7 – Сопоставление изгибающих моментов и поперечных сил в решетчатой стойке при расчете на основные нагрузки и при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузки

Критерий сравнения	Расчет на основные нагрузки		Расчет без учета снеговой и ветровой нагрузок	
	Каркас с консолями	Каркас без консолей	Каркас с консолями	Каркас без консолей
Максимальный изгибающий момент в решетчатой стойке, кНхм	4661,32	3013,16	1761,98	1716,19
Максимальная поперечная сила в решетчатой стойке, кН	-1218,97	-752,38	464,83	459,08

Сравнивая усилия в таблице 7, делается вывод о том, что напряженно-деформированное состояние элементов в каркасах (с консолями и без) примерно равно.

## 2.6 Выводы по главе

Анализируя напряженно-деформированное состояние двух вариантов каркаса от действия основных нагрузок можно сделать вывод о том, что наличие консольных вылетов увеличивает усилия элементов каркаса здания за счет учета снеговой и ветровой нагрузки на консоль по схеме навеса.

При расчете на основные нагрузки максимальный изгибающий момент в решетчатой стойке в варианте каркаса с консолями на 35% больше, чем в варианте каркаса без консолей.

В то же время, при расчете двух вариантов каркаса без учета снеговой и ветровой нагрузок выявилось, что напряженно-деформированное состояние элементов в каркасах (с консолями и без) примерно равно, расхождение в максимальных изгибающих моментах составляет всего 3%.

При этом, при заданных конструктивных решениях и подобранных жесткостях, не все элементы каркаса без консолей удовлетворяют требованиям прочности, устойчивости и гибкости. Произведя подбор сечений элементов, с критическим фактором больше 1, а именно для распорок между прогонами второго яруса, удалось выявить, что для данных конструктивных групп придется увеличивать сечение почти в 2 раза.

В варианте каркаса с консолями расход стали больше, но окончательный выбор формы покрытия определяется не только конструктивными и технико-экономическими, но и архитектурно-художественными требованиями. Совокупность конструкций уникального большепролетного здания должна способствовать созданию выразительной, индивидуальной и масштабной архитектурной формы. А также, наличие консолей способствует не попаданию солнечных лучей на ледовую арену.

Для дальнейшего анализа влияния особых нагрузок техногенного характера выбираем вариант каркаса с консолями.

## Глава 3 Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас

### 3.1 Техногенные нагрузки. Виды. Учет техногенных нагрузок при расчете каркаса большепролетного здания

Техногенные нагрузки – нагрузки, которые возникают в результате деятельности человека.

Особые нагрузки согласно [13] подразделяются на:

- нормируемые (проектные) нагрузки – нагрузки, интенсивность и распределение которых по поверхности или объему сооружений известны и заданы в действующих нормативных документах или задании на проектирование;

- аварийные нагрузки - нагрузки и воздействия, не регламентированные в нормативных документах, которые могут привести к аварийной расчетной ситуации.

Нагрузки техногенного характера подразделяются на следующие виды:

- нагрузки при внутренних и внешних взрывах;
- ударные нагрузки, в том числе нагрузки при столкновении транспортных средств, ремонтной и строительной техники с элементами сооружения, удар транспортных средств по опорным элементам сооружений; падение вертолета на сооружение, удар погрузчика и т.п.;

- отказ работы несущего элемента конструкций (по причине ошибки на стадии проектирования или других факторов);

- нагрузки, вызываемые нарушениями технологического процесса, неисправностью или поломкой оборудования;

- пожарные нагрузки;

- другие типы нагрузок и воздействий, вызванные деятельностью человека.

Все выше перечисленные нагрузки создают аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями. Чтобы предотвратить огромное количество человеческих жертв, очень важно учитывать техногенные нагрузки при расчете зданий.

В данной работе мною будет рассчитано здание на 3 вида особых воздействий: прогрессирующее обрушение, удар автотранспортного средства и внутренний взрыв.

Очень важен расчет здания на прогрессирующее обрушение, так как он «учитывает» возможность отказа тех элементов, который может повлечь за собой обрушение всего здания. Также логично будет учесть возможный удар автотранспортного средства в решетчатые стойки и связи-колонны в рассматриваемом мною здании, так как его назначение предполагает передвижение внутри здания грузовых транспортных средств для обслуживания ледовой арены. Здания, предполагающие массовые скопления людей, часто подвергаются терактам. Поэтому, расчет на внутренний взрыв, при возможном заложении бомбы, или при другой причине взрыва, также необходим для спортивного сооружения.

### 3.2 Расчет каркаса на прогрессирующее обрушение. Анализ результатов расчета

Прогрессирующее обрушение - последовательное разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие начального локального повреждения, которое может возникнуть по ряду причин (выход из строя элемента, отказ работы элемента, последствия других особых воздействий) [14].

Согласно [14] расчет на прогрессирующее обрушение стоит проводить поэтапно.

На первом этапе (для первичной расчетной схемы) необходимо определить напряженно-деформированное состояние конструкций при условиях нормальной эксплуатации.

На последующих этапах для каждой вторичной расчетной схемы следует определять напряженно-деформированное состояние конструкций, возникающее в особом предельном состоянии при локальном разрушении.

При этом при расчёте по вторичным расчетным схемам следует определять несущие элементы, выход из строя которых может повлечь за собой прогрессирующее обрушение всего здания.

В нормативных документах [14] рекомендуют особое внимание наиболее нагруженным элементам, то есть принимать выход из строя этих элементов за предполагаемое начальное разрушение. В тоже время для большепролетных зданий и сооружений рекомендуется в качестве локального разрушения рассматривать разрушение не менее одного из несущих элементов, а также разрушение угловой колонны [15].

Расчет на прогрессирующее обрушение производится в постпроцессоре ПК SCAD «Прогрессирующее обрушение».

Специальными исходными данными для расчета являются:

- список конечных элементов (в нашем случае, это элемент нижнего пояса фермы), входящих во внезапно удаляемый элемент конструкции;
- проверочная комбинация загрузений, которая согласно [4] состоит из постоянных нагрузок и длительной части временных нагрузок с коэффициентом 1;
- группа нагрузок, которая определяет вес обрушившихся конструкций (в рассматриваемом мною случае, вес обрушившихся конструкций не учитывается, так как конструкции будут падать на пол, а не на другие элементы каркаса, как, например, в случае лавинообразного обрушения высотного здания);
- коэффициент перегрузки (динамичности) – для корректировки реакции системы при внезапном удалении элемента конструкции;
- коэффициент перегрузки – для корректировки реакции системы на внезапное обрушение вышедших из строя конструкций (в рассматриваемой мною особой расчетной ситуации эффект падения обрушившихся конструкций не учитывается).

Для того чтобы учесть изменение геометрии системы при деформации элементов от нагрузок, расчёт будет выполнен с учетом геометрической нелинейности.

Пример задания исходных данных при расчете на прогрессирующее обрушение для случая с начальным локальным разрушением элемента нижнего пояса фермы приведен на рисунке 85. Для других случаев специальные исходные данные задаются аналогично.

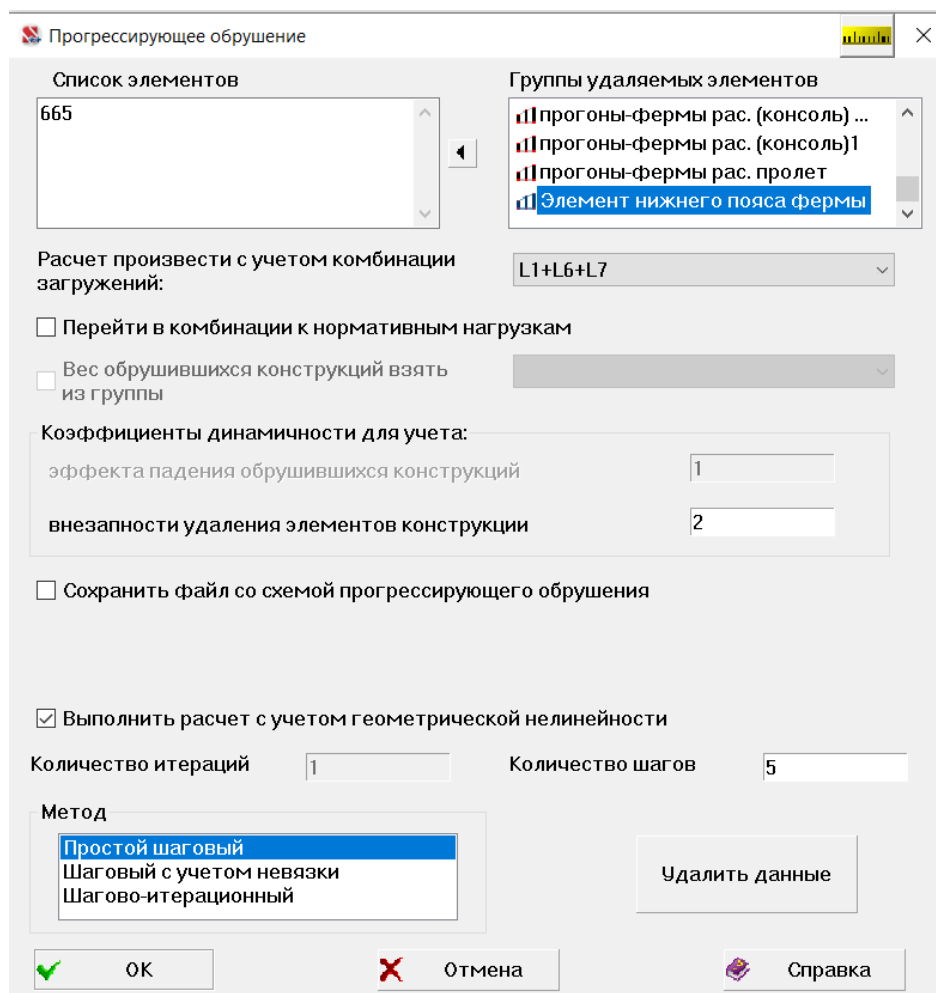


Рисунок 85 – Задание специальных исходных данных для расчета на прогрессирующее обрушение

Для анализа деформированного состояния, создадим особое предельное состояние, путем обнуления жесткости элемента, произведем расчет на основные нагрузки.

Согласно [15] предельно допустимые вертикальные прогибы не должны превышать  $1/50$  длины пролета ( $104200/50=2084$  мм).

В работе за предполагаемое начальное локальное разрушение будут приняты элементы: элемент угловой решетчатой стойки, элемент самой нагруженной решетчатой стойки, элемент самой нагруженной колонны-связи, а также самые нагруженные элементы верхних и нижних поясов ферм.

## Локальное разрушение элемента угловой решетчатой стойки

Принимаем за начальное локальное разрушение выход из строя элемента угловой решетчатой стойки.

Анализируя критический фактор, видно, что разрушение носит локальный характер и не приведет к прогрессирующему обрушению всего здания (Рисунок 86). Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость - 96 шт., что составляет 0,32% от общего количества элементов. Теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы прогонов и решетчатой стойки.

Максимальные вертикальные перемещения остались в пределах допустимых значений и составляют 330,18 мм (Рисунок 87). Характер деформирования каркаса приведен на рисунке 88.

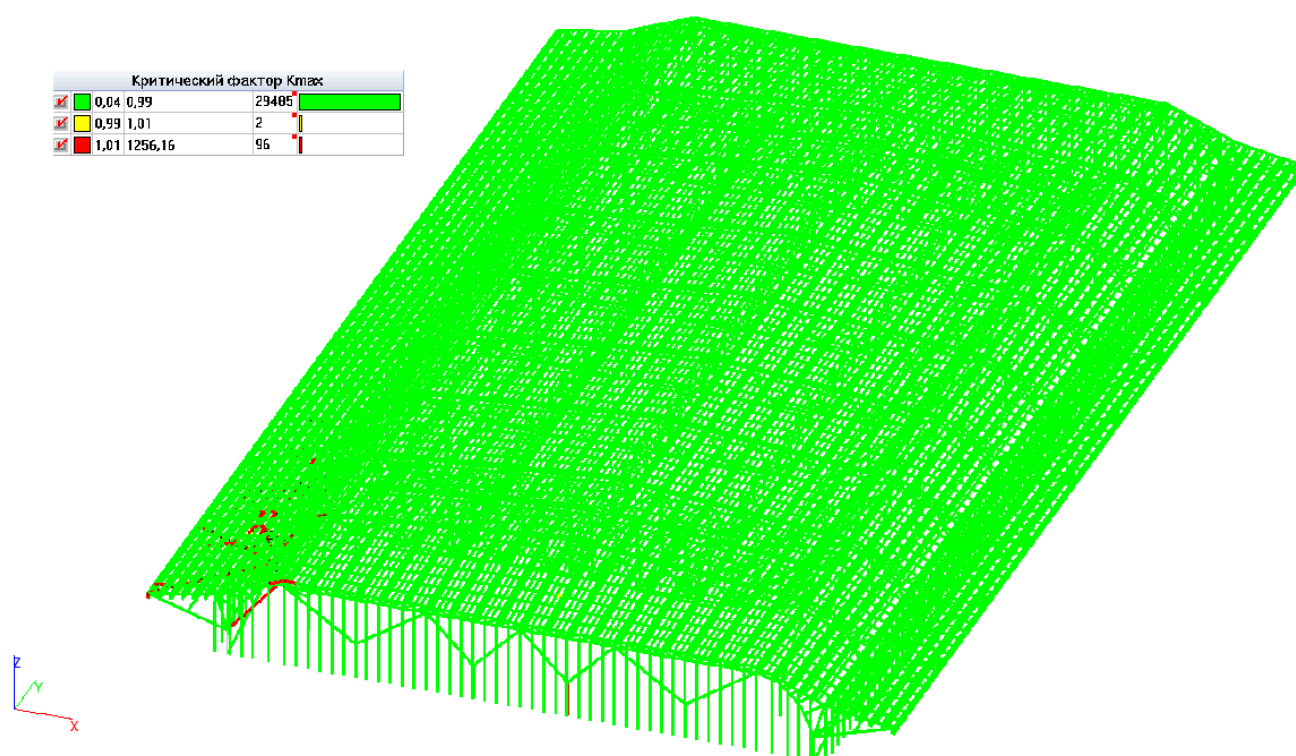


Рисунок 86 – Критический фактор при локальном разрушении элемента угловой решетчатой стойки

Перемещения

12

	Z		
	мм	мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	-330.18	-301.3	807
<input checked="" type="checkbox"/>	-301.3	-272.43	1582
<input checked="" type="checkbox"/>	-272.43	-243.56	672
<input checked="" type="checkbox"/>	-243.56	-214.69	776
<input checked="" type="checkbox"/>	-214.69	-185.82	764
<input checked="" type="checkbox"/>	-185.82	-156.94	674
<input checked="" type="checkbox"/>	-156.94	-128.07	613
<input checked="" type="checkbox"/>	-128.07	-99.2	653
<input checked="" type="checkbox"/>	-99.2	-70.33	1070
<input checked="" type="checkbox"/>	-70.33	-41.45	1884
<input checked="" type="checkbox"/>	-41.45	-12.58	2193
<input checked="" type="checkbox"/>	-12.58	16.29	1900

Шкала фрагмента

Закрывать

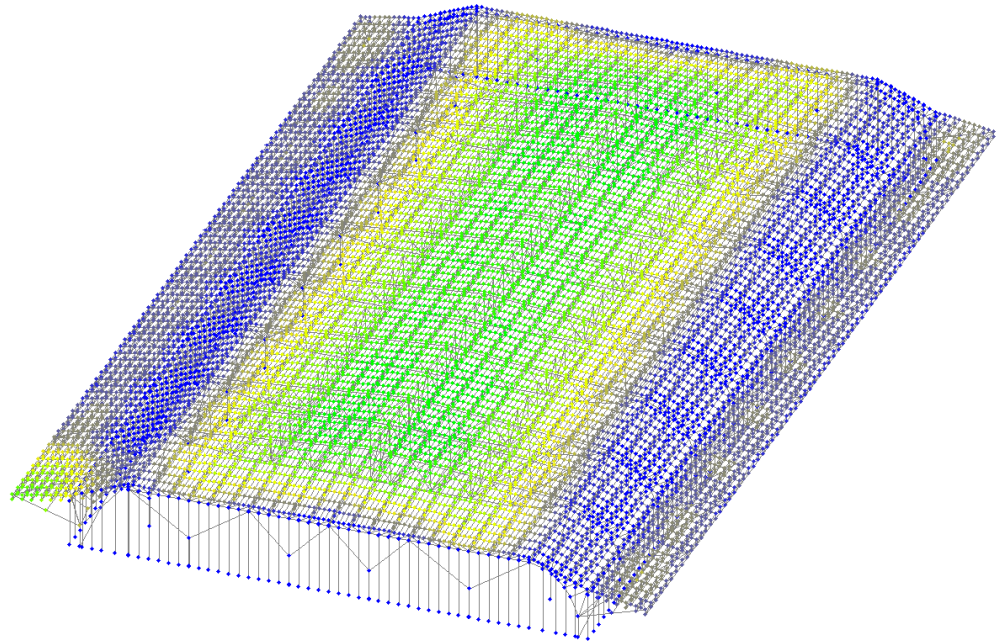


Рисунок 87 – Вертикальные перемещения при локальном разрушении элемента угловой решетчатой стойки

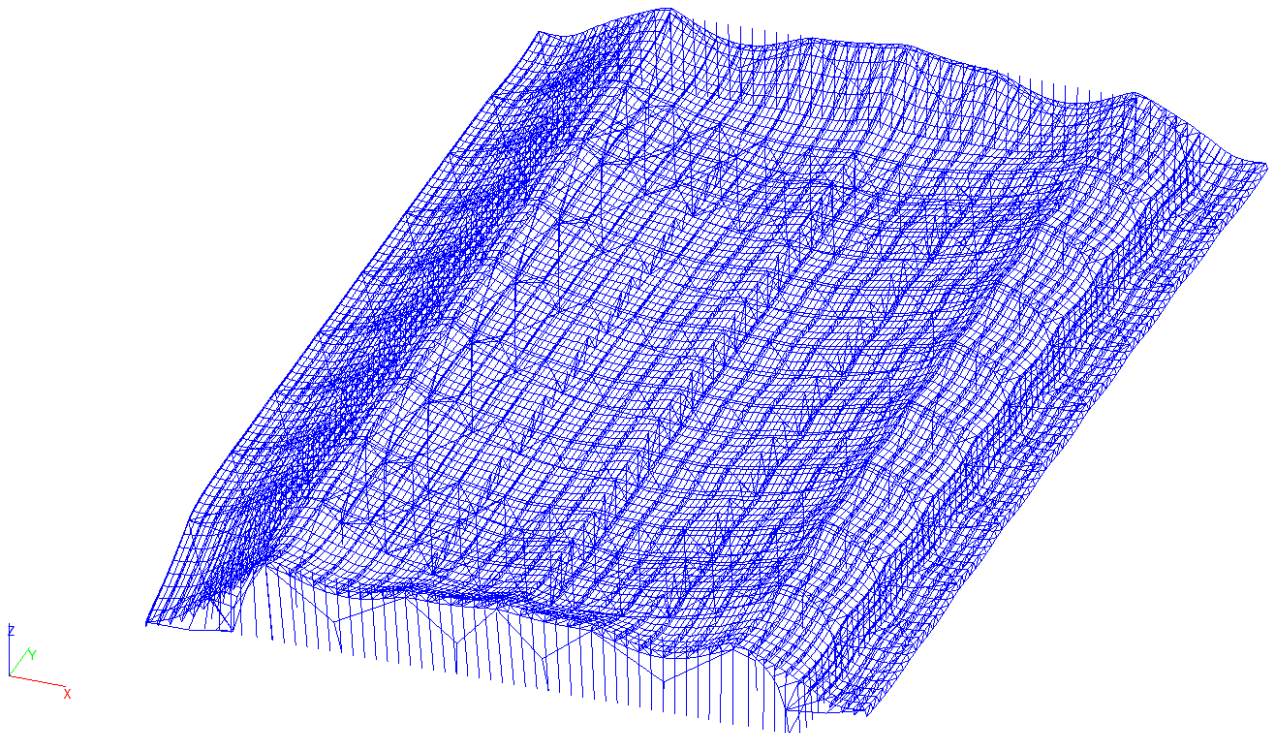


Рисунок 88 – Деформированная схема при локальном разрушении элемента угловой решетчатой стойки



## Локальное разрушение элемента самой нагруженной решетчатой стойки

Второй случай начального локального разрушения – разрушение элемента самой нагруженной стойки.

При локальном разрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки (Рисунок 89) большее количество элементов выходят из строя, чем в случае с угловой. Но характер обрушения несет локальный характер, что не приведет к лавинообразному разрушению всего каркаса.

Количество элементов, не удовлетворяющим требованиям прочности, устойчивости или гибкости – 231 шт., что составляет 0,78 % от общего количества элементов. Теряют свою несущую способность/устойчивость в основном элементы решетчатых стоек, а также элементы прогонов, находящиеся по обе стороны от удаляемого элемента.

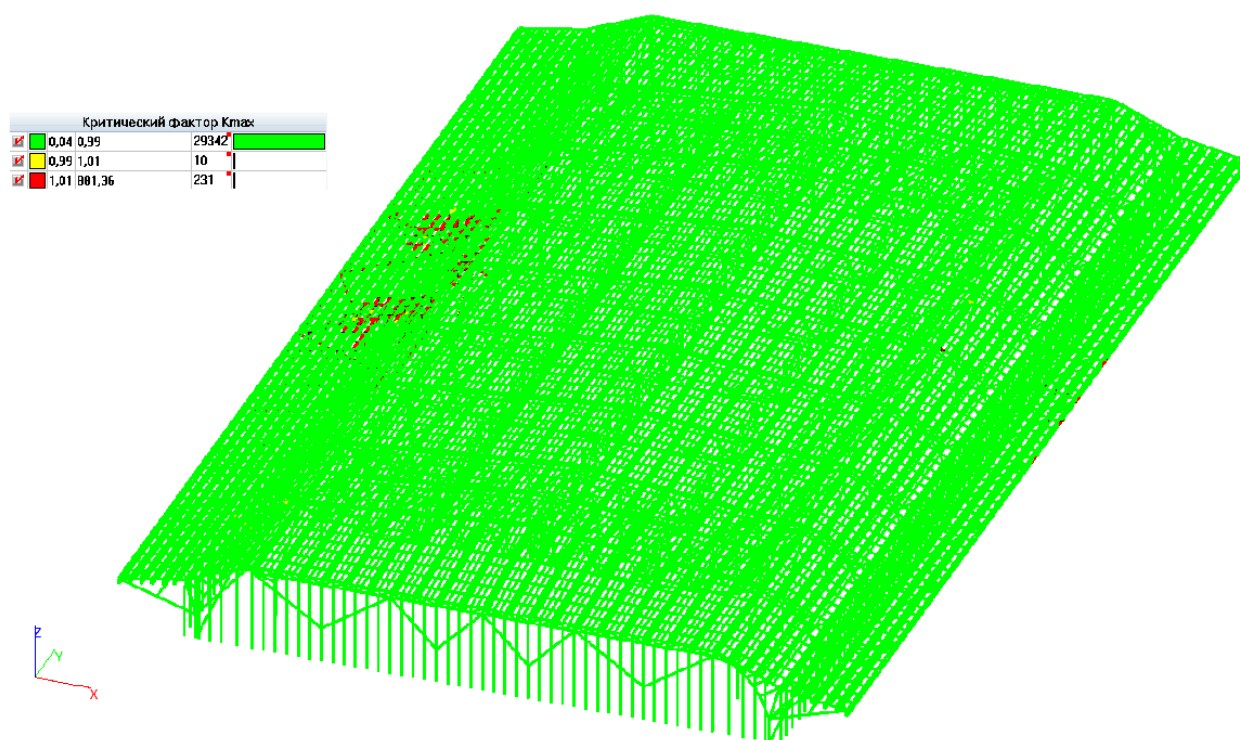


Рисунок 89 – Критический фактор при локальном разрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки

Перемещения в зоне удаления элемента увеличиваются, но максимальные перемещения элементов каркаса не выше предельно допустимых значений и составляют 332,52 мм (Рисунок 90).

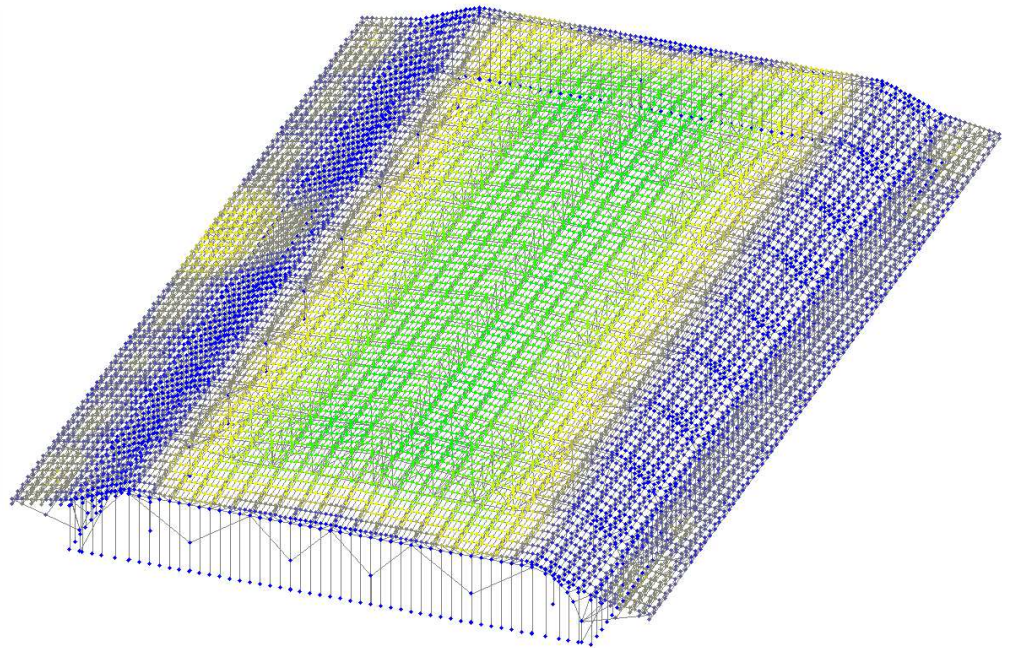
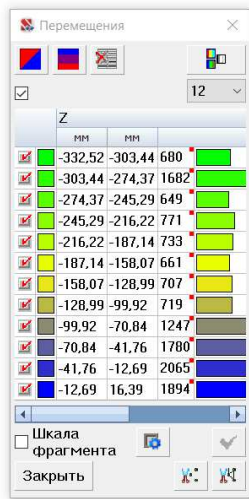


Рисунок 90 – Вертикальные перемещения при локальном разрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки

По характеру деформирования каркаса видно, что элементы на консоли, над удаляемым элементом прогибаются (Рисунок 91).

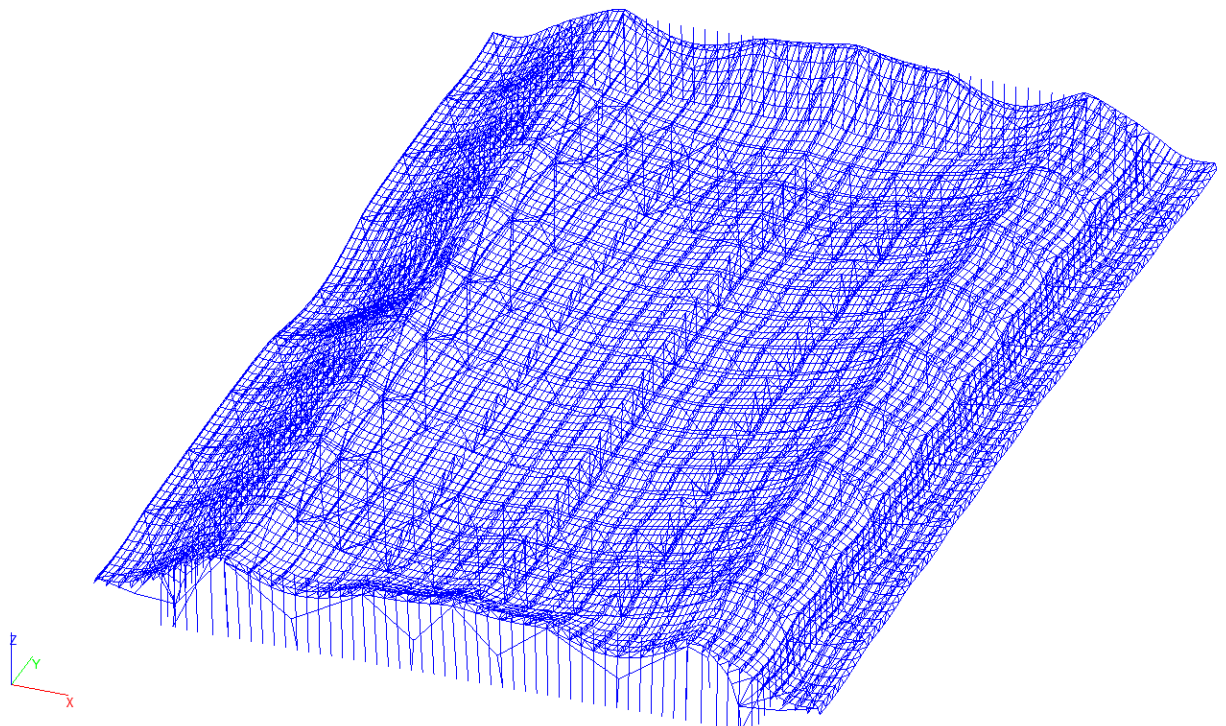


Рисунок 91 – Деформированная схема при локальном разрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки

## Локальное разрушение элемента самой нагруженной колонны-связи

При локальном разрушении элемента колонны-связи выходит из строя всего 16 элементов, что составляет 0,05% от общего количества элементов (Рисунок 92), прогрессирующего обрушения всего каркаса не произойдет. Теряют свою несущую способность/устойчивость элементы колонны-связи, а также элементы фермы пролетом 31,3 метра, находящейся над удаляемым элементом.

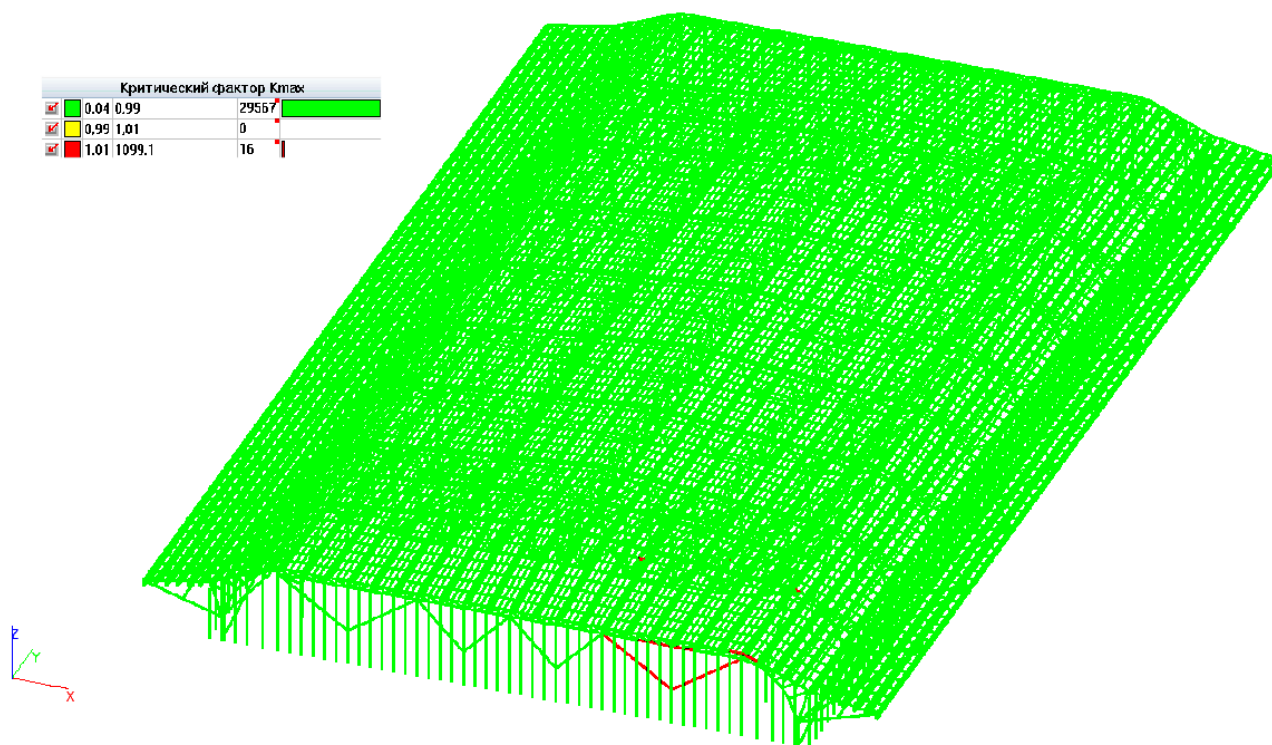


Рисунок 92 – Критический фактор при локальном разрушении элемента самой нагруженной колонны-связи

Максимальные перемещения элементов каркаса не выше предельно допустимых значений и составляют 337,06 мм (Рисунок 93). Характер деформирования каркаса приведен на рисунке 94.

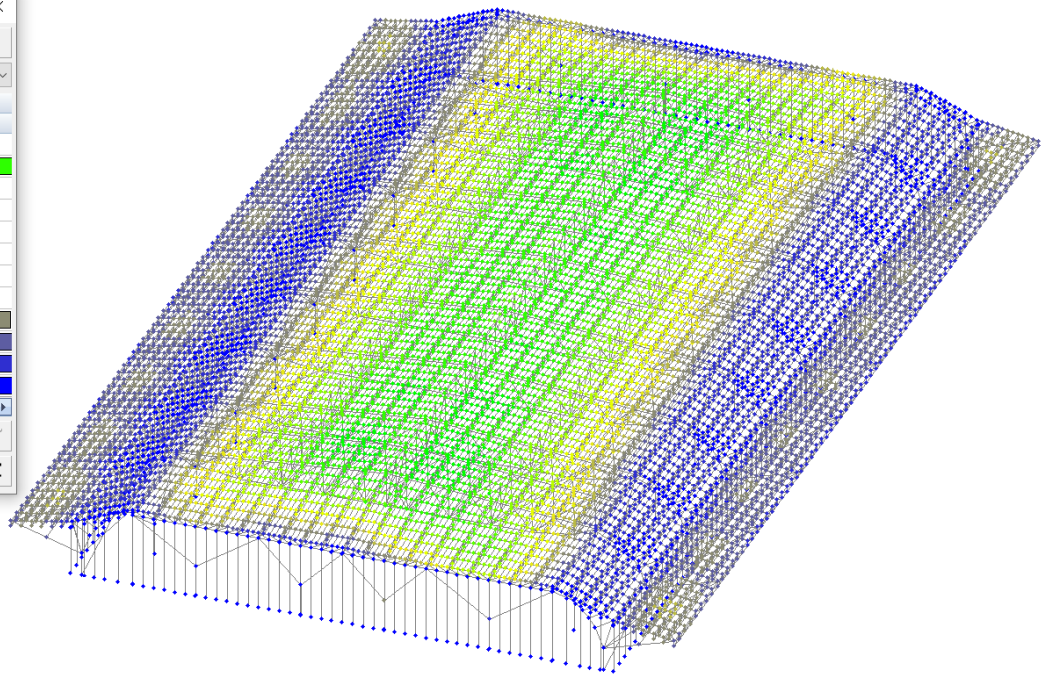
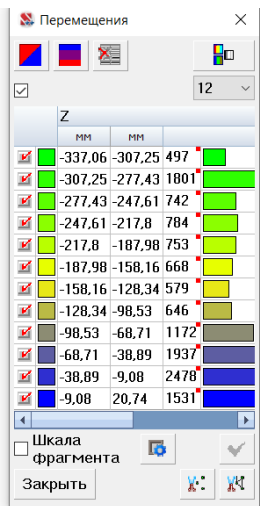


Рисунок 93– Вертикальные перемещения при локальном разрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки

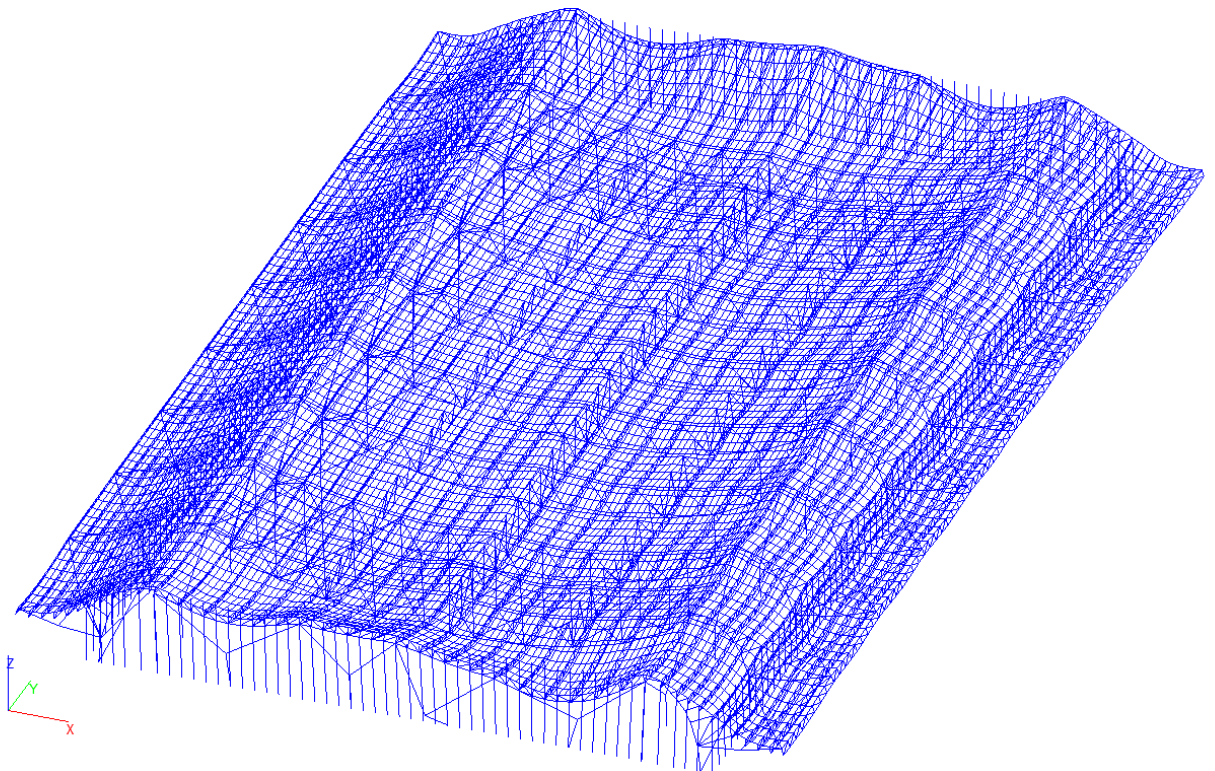


Рисунок 94 – Деформированная схема при локальном разрушении элемента самой нагруженной колонны-связи

## Локальное разрушение самого нагруженного элемента нижнего пояса фермы

При локальном разрушении элемента нижнего пояса фермы (Рисунок 95), выход из строя элементов несет более масштабный характер. Количество элементов, вышедших из строя – 569, что составляет 1,92 % от общего количества элементов.

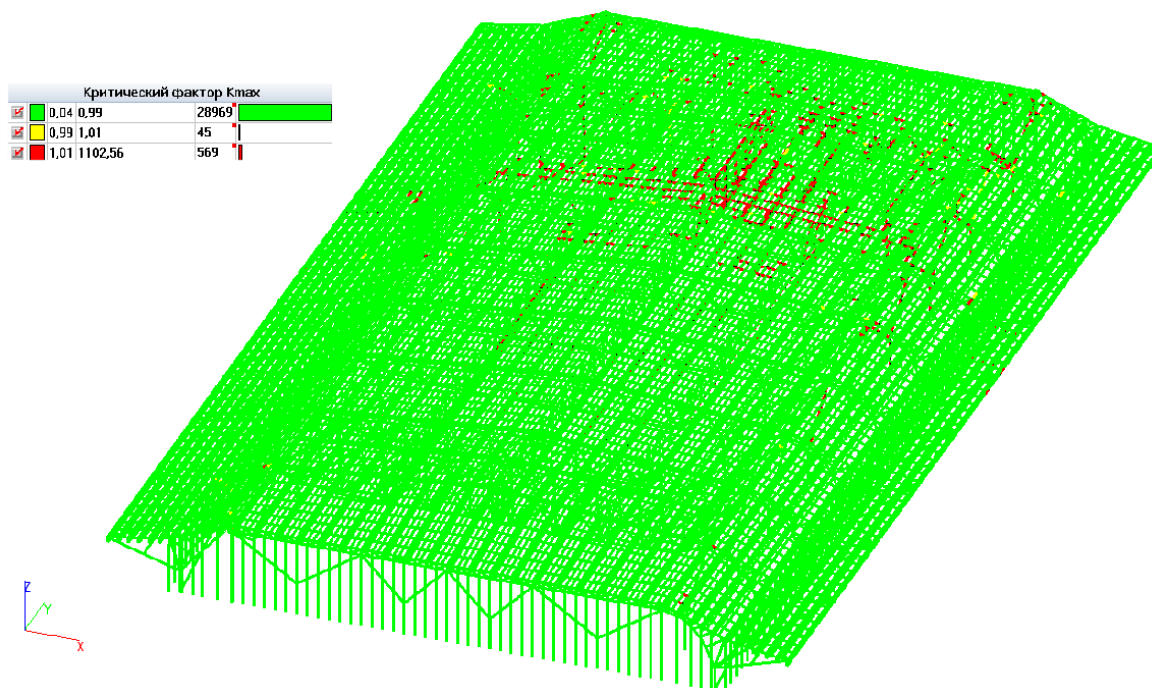


Рисунок 95 – Критический фактор при локальном разрушении элемента нижнего пояса фермы

Но при этом, выходят элементы обрешетки (распорки между прогонами второго яруса), элементы вертикальной связевой фермы, а также некоторые элементы колонн-связей (Рисунок 96).

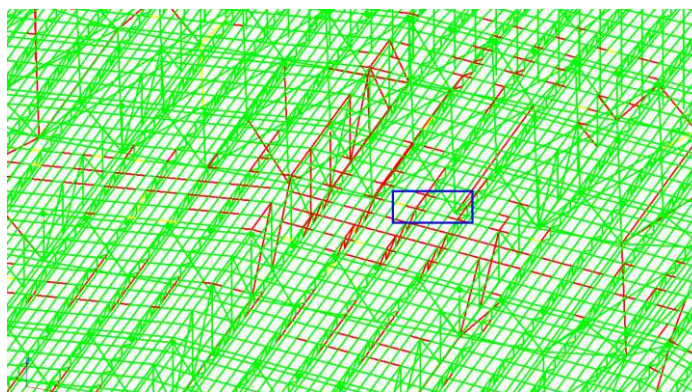


Рисунок 96 – Фрагмент критического фактора элементов при локальном разрушении элемента нижнего пояса фермы

Максимальные перемещения больше предельно допустимых при условиях нормальной эксплуатации и равны 618,81 мм (Рисунок 97). Характер деформирования каркаса приведен на рисунке 98.

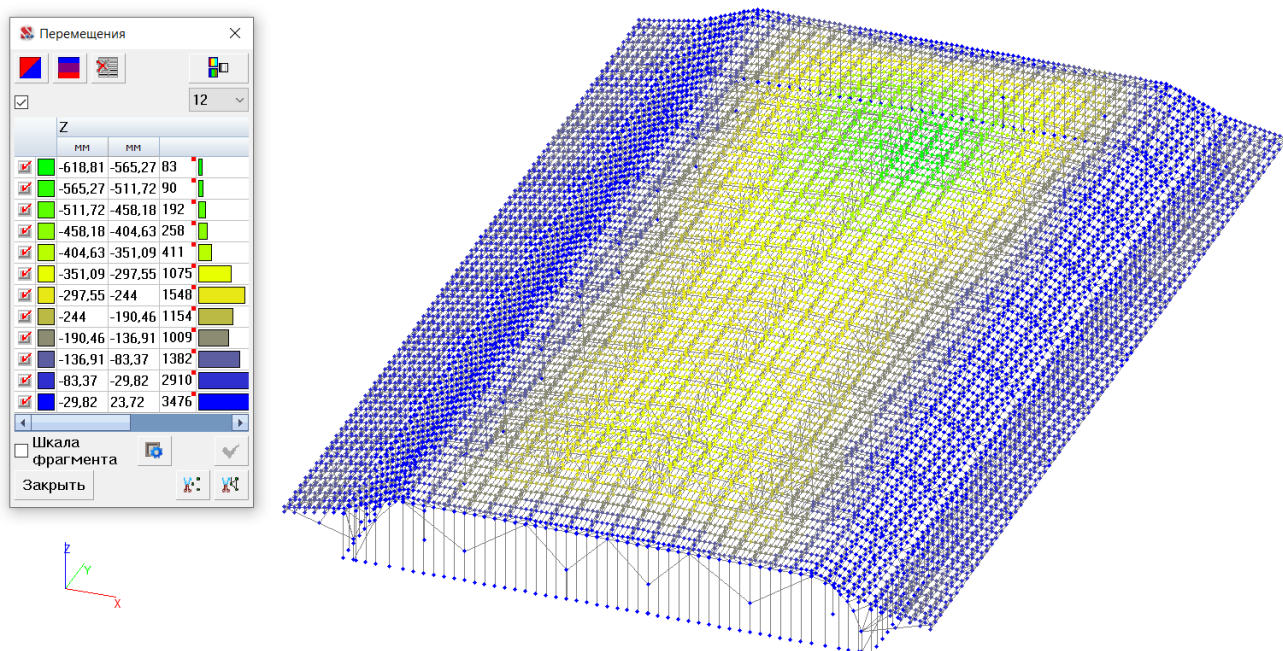


Рисунок 97 – Вертикальные перемещения при локальном разрушении элемента нижнего пояса фермы

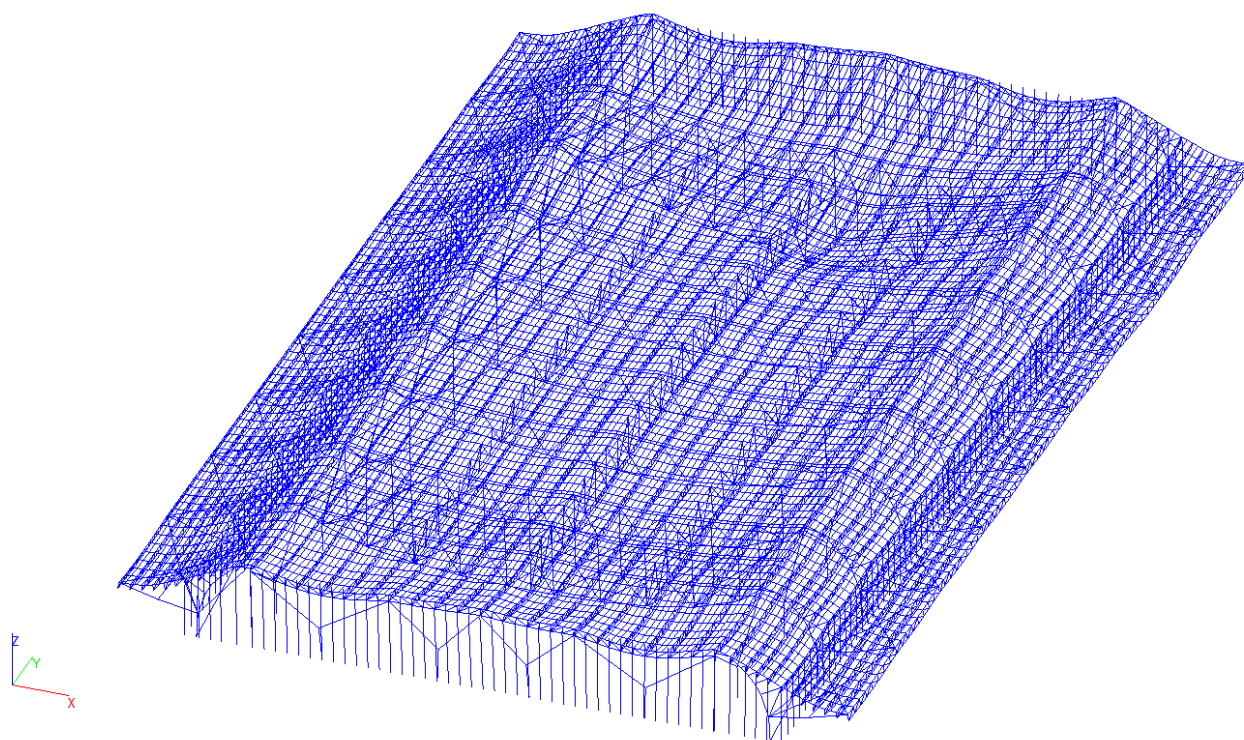


Рисунок 98 – Деформированная схема при локальном разрушении элемента нижнего пояса фермы

## Локальное разрушение самого нагруженного элемента верхнего пояса фермы

При локальном разрушении элемента верхнего пояса фермы выходят из строя всего 9 элементов (Рисунок 99).

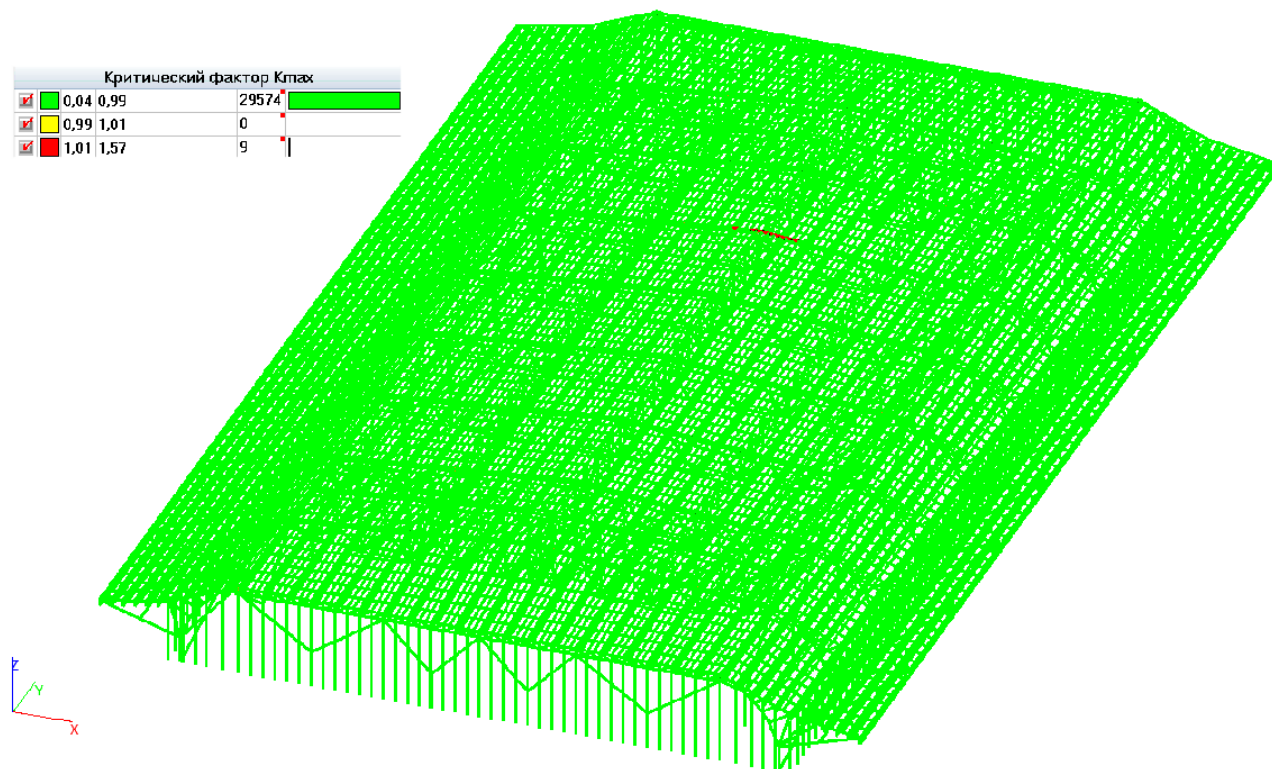


Рисунок 99 – Критический фактор при локальном разрушении элемента верхнего пояса фермы

Элементы, выходящие из строя – распорки между прогонами второго яруса, находящиеся над удаляемым элементом верхнего пояса фермы (Рисунок 100). Можно сделать вывод, что при начальном разрушении самого нагруженного элемента верхнего пояса фермы прогрессирующего обрушения не произойдет, и в целом разрушение несет, по сравнению с другими вариантами менее опасный характер.

Вертикальные перемещения в пределах нормы и составляют 333,85 мм (Рисунок 101).

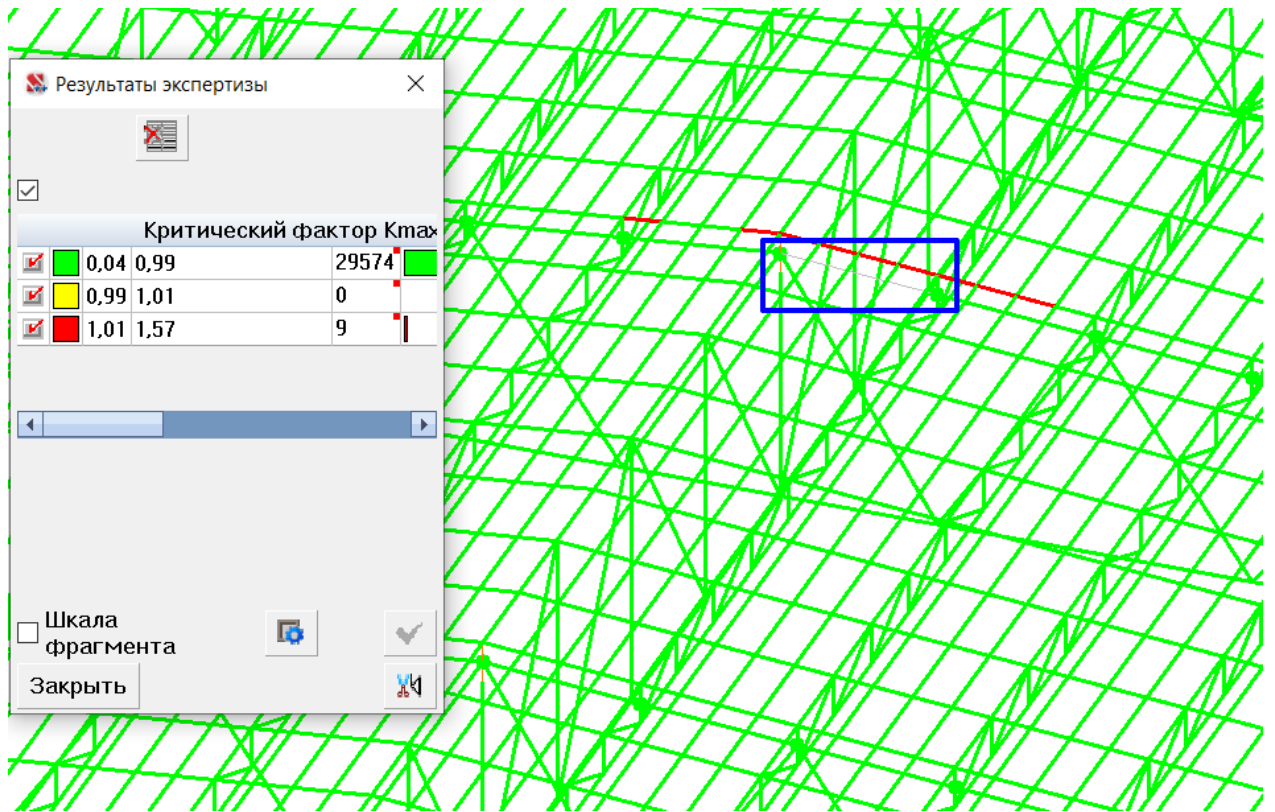


Рисунок 100 – Фрагмент критического фактора элементов при локальном разрушении элемента верхнего пояса фермы

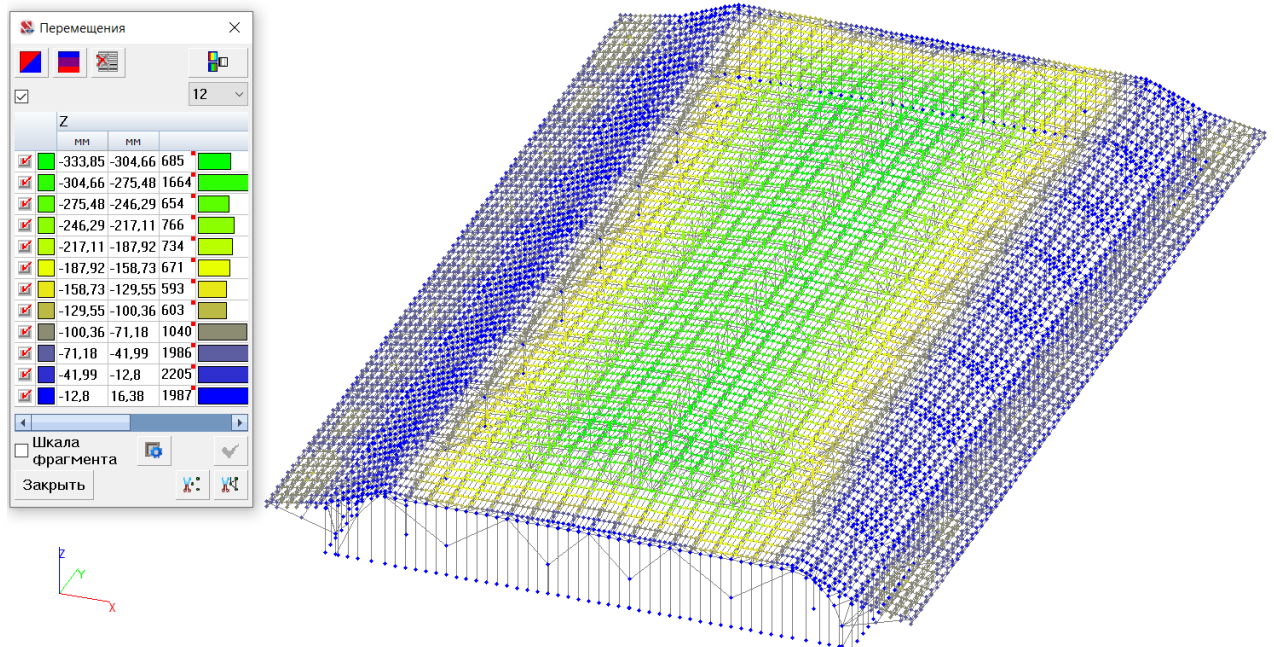


Рисунок 101 – Вертикальные перемещения при локальном разрушении элемента верхнего пояса фермы



### 3.3 Расчет каркаса на удар автотранспортного средства. Анализ результатов расчета

Согласно [13] ударные нагрузки от автотранспортных средств следует учитывать для зданий и сооружений в которых допускается движение транспортных средств. В крытом конькобежном центре необходимо предусматривать въезд в здание грузовых автомобилей, поэтому учет такой нагрузки необходим.

Нагрузки от столкновения грузовых автомобилей учитываются как равномерно распределенные по площади ударного контакта и прикладываются на высоте 1,0 от уровня проезжей части (в нашем случае, от уровня чистого пола).

Высота площадки ударного контакта принимается равной 0,50 м, а ширина - равной ширине конструктивного элемента, но не более 2,0 м.

Величина прикладываемой нагрузки выбирается в зависимости от категории дороги и транспортного средства (Рисунок 102). Так как скорость движения транспорта по зданию ограничено по ряду причин, принимаем нагрузку как для дворовых территорий с движением грузовых автомобилей.

Категория дороги по [3] и ГОСТ Р 52398	Сосредоточенная нагрузка $F_{vx}$ , кН (в направлении движения)	Сосредоточенная нагрузка $F_{vy}$ , кН (перпендикулярно направлению движения)
Автомагистрали и скоростные автомобильные дороги категорий IA и IB	1000	500
Обычные автомобильные дороги категорий IB, II	750	375
Обычные автомобильные дороги категорий III-V	500	250
Дворовые территории и гаражи с движением: - легковых автомобилей - грузовых автомобилей (с общей массой более 3,5 т)	50 150	25 75

Рисунок 102 – Величина ударной нагрузки в зависимости от категории дороги и вида автомобиля

Вычислим распределенную ударную нагрузку по высоте площадки ударного контакта 0,5 метров по направлению движения автотранспорта:

$$q=150/0,5=300 \text{ кН/м}$$

Вычислим распределенную ударную нагрузку по высоте площадки ударного контакта 0,5 метров перпендикулярно направлению движения автотранспорта:

$$q=75/0,5=150 \text{ кН/м}$$

Примем за первый случай расчетной ситуации, когда удар случится в опорную часть угловой решетчатой стойки (Рисунок 103). Удар произойдет рядом с предположительным въездом грузовой техники в здание.

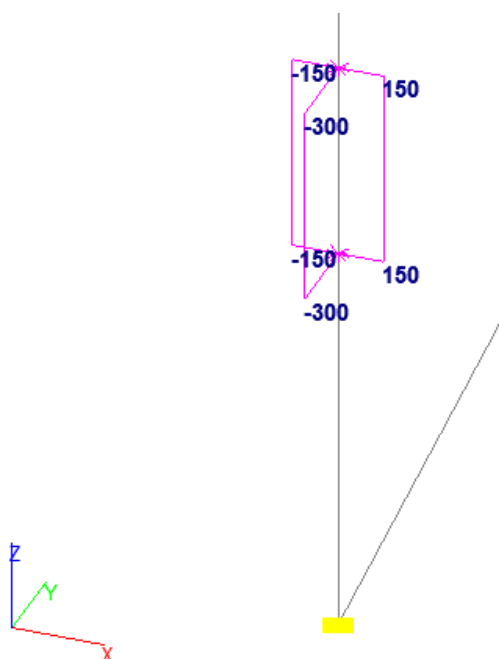


Рисунок 103 – 1 случай ударного контакта (удар в решетчатую стойку)

За второй случай расчетной ситуации, принимаем удар в Y-образную колонну связь (Рисунок 104). Удар произойдет по пути движения грузового автотранспортного средства внутри здания.

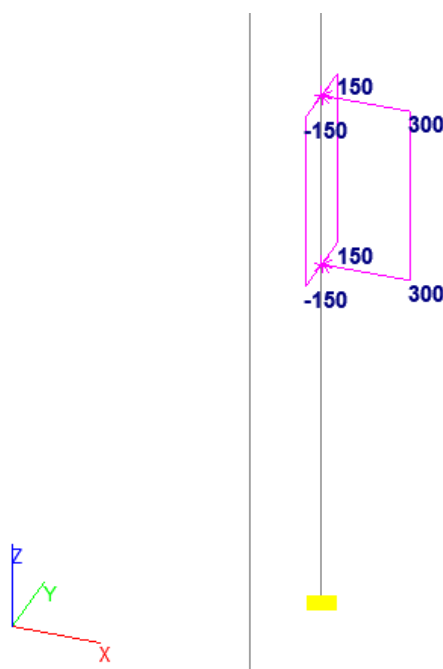


Рисунок 104 – 2 случай ударного контакта (удар в колонны-связи)

Включим особую нагрузку в РСУ, добавив 2 случая ударных нагрузок во взаимоисключающие загрузки (Рисунок 105).

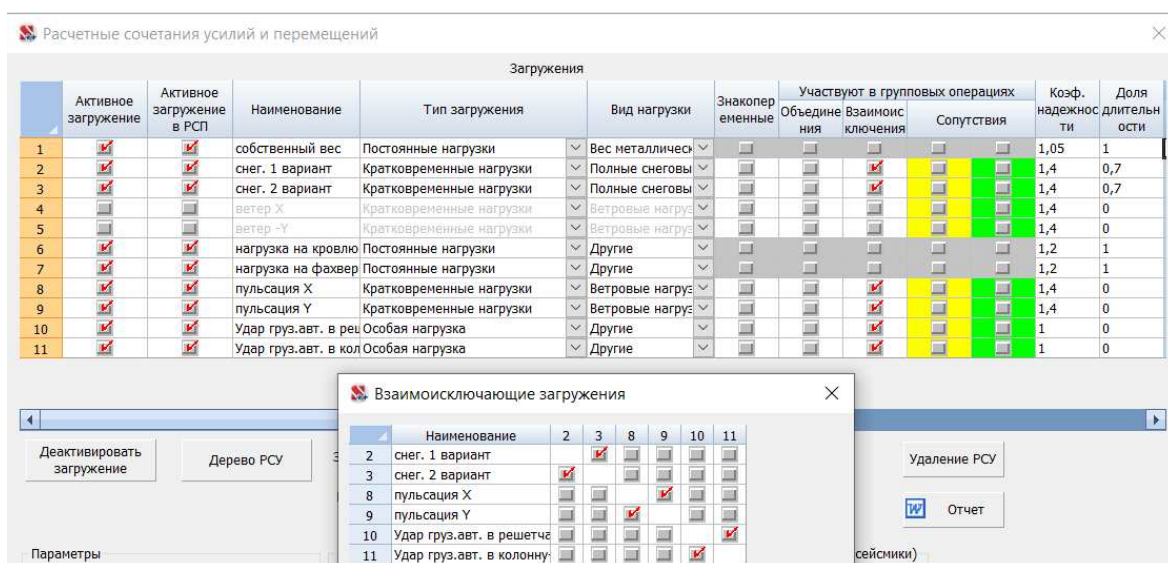


Рисунок 105 – Расчетные сочетания усилий

Анализ напряженно-деформированного состояния элементов каркаса при расчете на удар автотранспортных средств будет производиться в постпроцессоре РСУ в ПК SCAD. Также, там будет производиться анализ перемещений, используя функцию отображения расчетных сочетаний перемещений в постпроцессоре.

Расчетные сочетания перемещений от нормативных значений нагрузок приведены на рисунке 106. Максимальные вертикальные перемещения остались в пределах допустимых и составляют 332,55 мм.

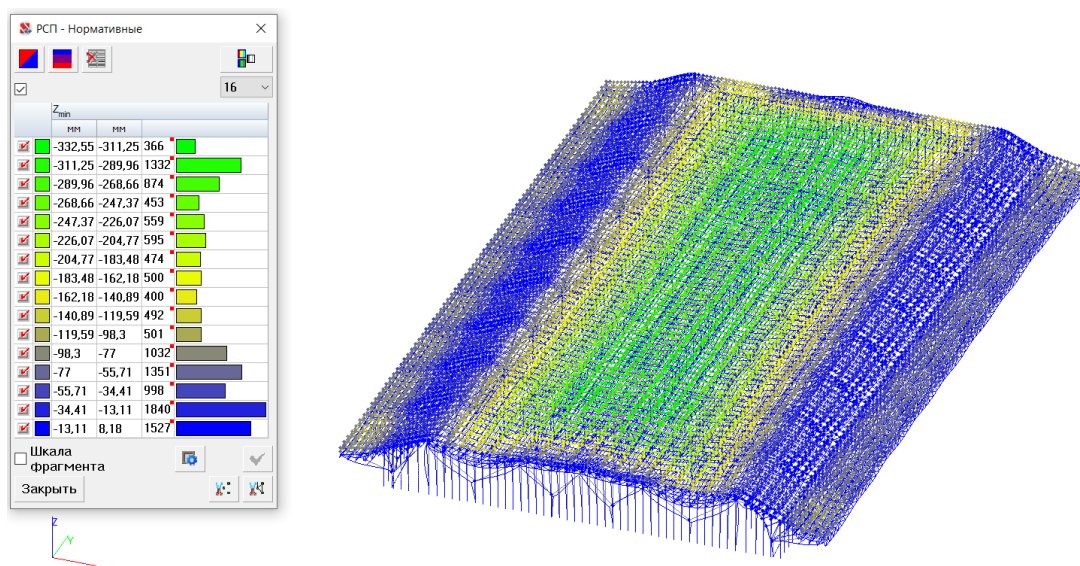


Рисунок 106 – Расчетные сочетания перемещений при расчете на удар грузового автомобиля

По результатам расчета стали (Рисунок 107) видно, что критический фактор для всех элементов меньше 1. Это означает, что все элементы каркаса остались работающими, и не вышли из строя под действием особого вида нагрузки (удар грузового автомобиля).

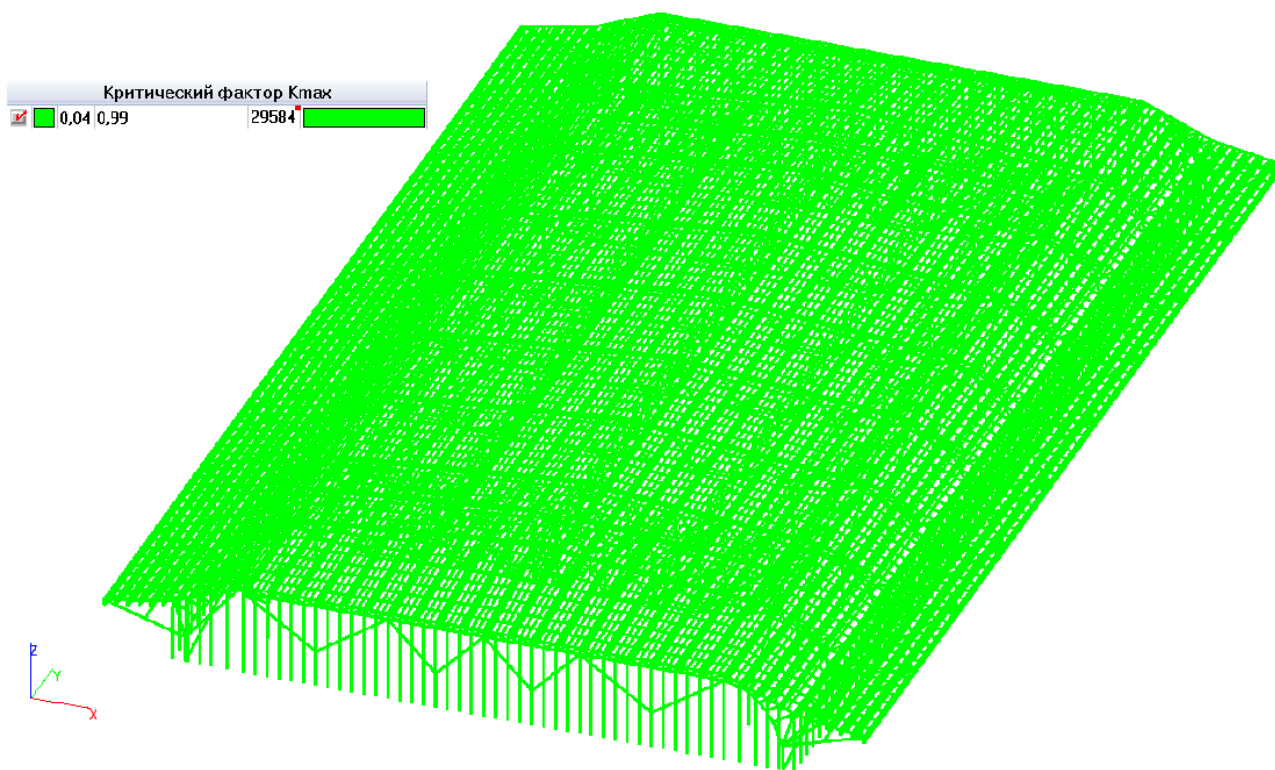


Рисунок 107 – Критический фактор при расчете на удар грузового автомобиля

Согласно [13] при соответствующем обосновании допускается выполнить динамический анализ ударного воздействия с использованием натурального или численного моделирования.

Произведем расчет в динамической постановке. Для этого, создадим новое динамическое нагружение – удар с учетом влияния массы ударяющего тела (Рисунок 109).

Исходными данными при расчете на удар являются: вес массы в узле, вес массы ударяющего тела, скорость в момент удара, продолжительность воздействия и коэффициент восстановления при ударе.

Вес массы в узле принимаем как вес элемента, в который произошел удар. Вес массы ударяющего тела (Рисунок 102) принимаем согласно [13]. Скорость в момент удара – 20 км/ч (5,56 м/сек). Продолжительность воздействия принимаем условно 0,001 сек. Коэффициент восстановления при ударе принимаем по таблице 5.1 Справочника по динамике сооружений [16]. Согласно таблице при материале поверхности конструкции и материале ударяющего тела (с формой параллелепипеда) из стали коэффициент восстановления при ударе равен 0,35 (Рисунок 108).

Исходные данные при расчете на удар грузового автотранспорта приведены на рисунке 110. Динамическая нагрузка на решетчатую стойку в виде сосредоточенных масс в узле приведена на рисунке 111.

Таблица 5.1

Ориентировочные значения коэффициента  $k_0$

Материал поверхности конструкции, воспринимающей удар	Материал и форма ударяющего тела				
	твердые металлы (сталь, сплавы)		медь, алюминий, дерево, твердые пластмассы, камень, бетон и пр.		мягкие пластичные материалы (асфальт, глина, смолы, масла и пр.)
	шар	параллелепипед	шар	параллелепипед	
Сталь . . . . .	0,60	0,35	0,40	0,25	0
Дерево . . . . .	0,55	0,30	0,40	0,20	0
Камень . . . . .	0,40	0,20	0,30	0,15	0
Бетон . . . . .	0,35	0,15	0,25	0,10	0
Ксглолит . . . . .	0,20	0,10	0,10	0,05	0
Асфальт . . . . .	0	0	0	0	0

Рисунок 108 – Коэффициент восстановления при ударе

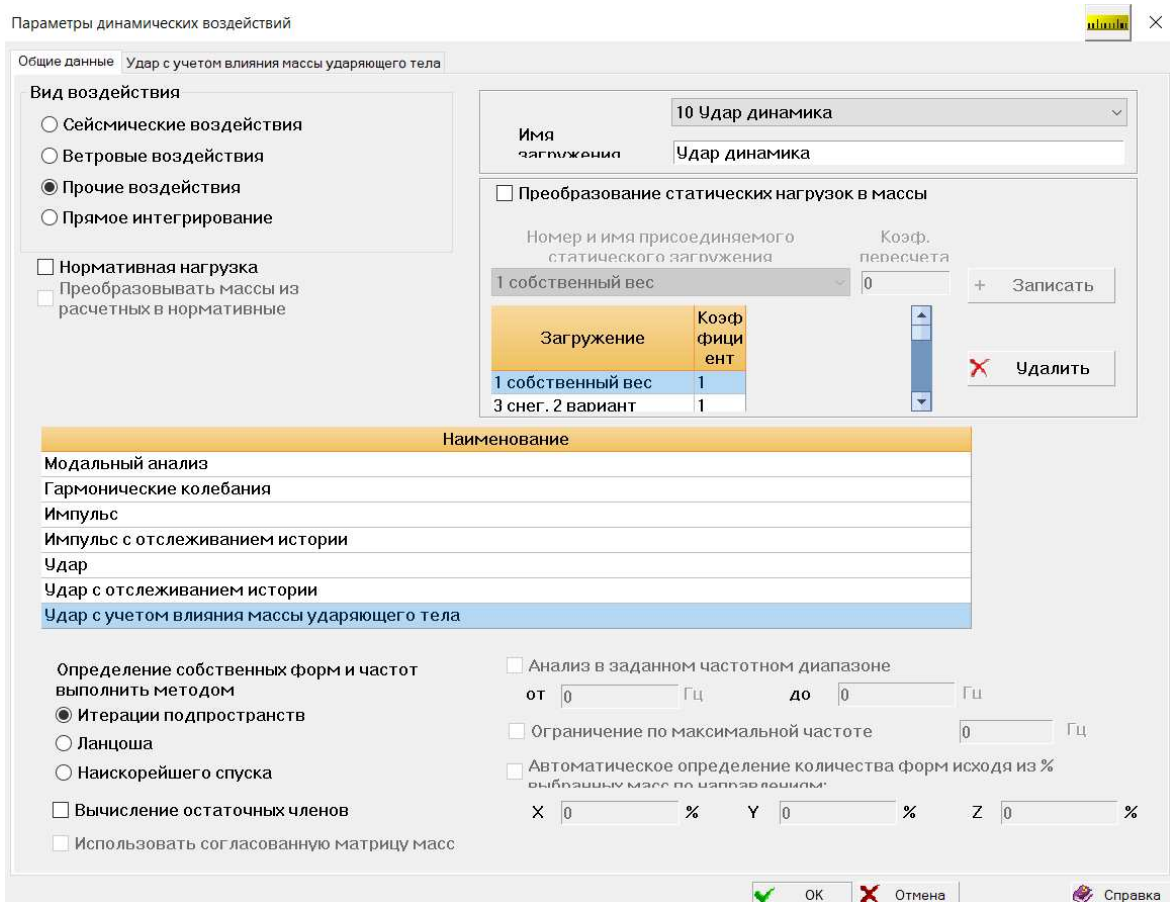


Рисунок 109 – Параметры динамических воздействий при расчете на удар

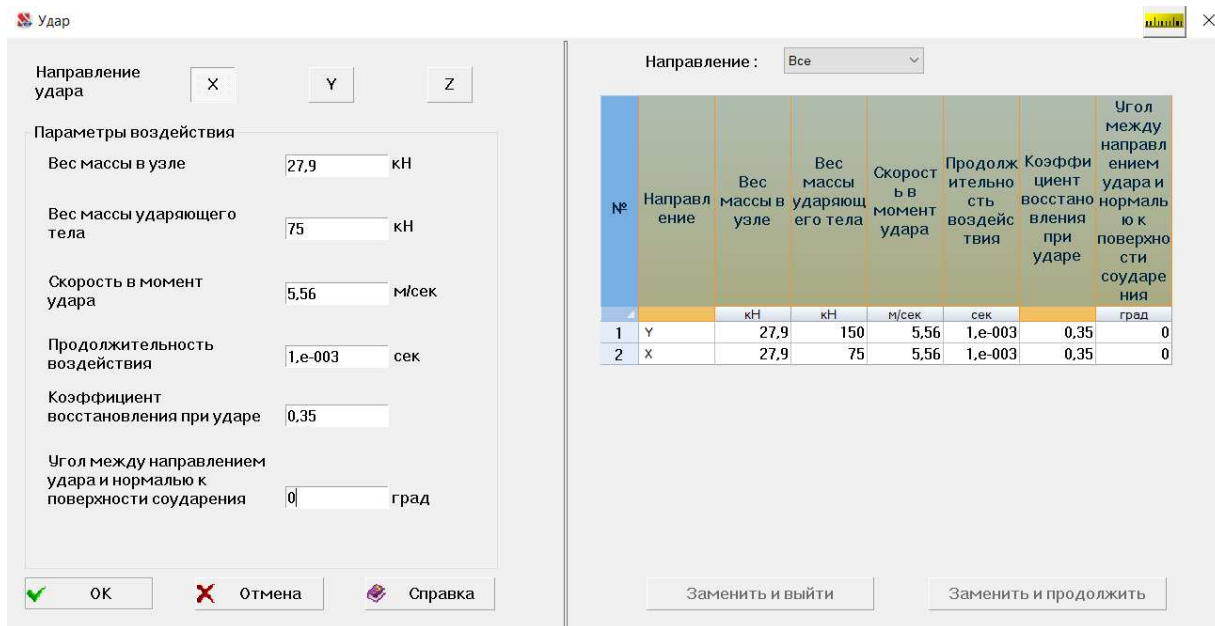


Рисунок 110 – Исходные данные при расчете на удар

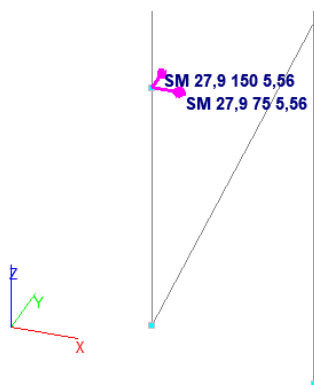


Рисунок 111 – Динамическая нагрузка на решетчатую стойку

Далее произведем расчет, включив в активные загрузки динамическое воздействие от удара (Рисунок 112).

№	Активное нагружение	Активное нагружение в РСП	Наименование	Тип нагружения	Вид нагрузки	Знакопеременные	Участуют в групповых операциях			Коэф. надежности	Доля длительности
							Объединения	Взаимоисключения	Сопутствия		
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	собственный вес	Постоянные наг	Вес металлических	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,05	1
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	снег. 1 вариант	Кратковременн	Полные снеговы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0,7
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	снег. 2 вариант	Кратковременн	Полные снеговы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0,7
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ветер X	Кратковременн	Ветровые нагрус	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ветер -Y	Кратковременн	Ветровые нагрус	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нагрузка на кровлю	Постоянные наг	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нагрузка на факхвер	Постоянные наг	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	пульсация X	Кратковременн	Ветровые нагрус	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	пульсация Y	Кратковременн	Ветровые нагрус	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	0
10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Удар динамика	Особая нагрузка	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0

Рисунок 112 – Расчетные сочетания усилий и перемещений при расчете на удар

При расчете в динамической постановке перемещения и критический фактор элементов каркаса не изменился. Это означает, что несущая способность элемента решетчатой стойки выдерживает динамическую нагрузку от удара грузового автотранспорта. Расчетные сочетания перемещений приведены на рисунке 113, критический фактор элементов приведен на рисунке 114.

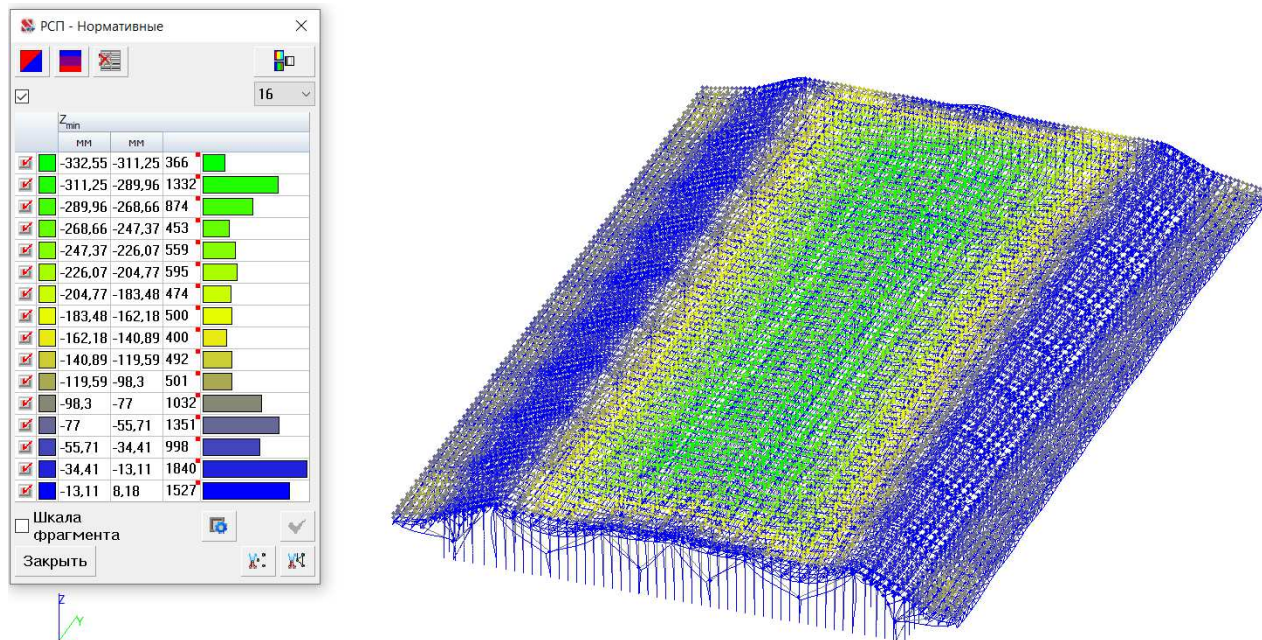


Рисунок 113 – Расчетные сочетания перемещений при расчете на удар грузового автомобиля в динамической постановке

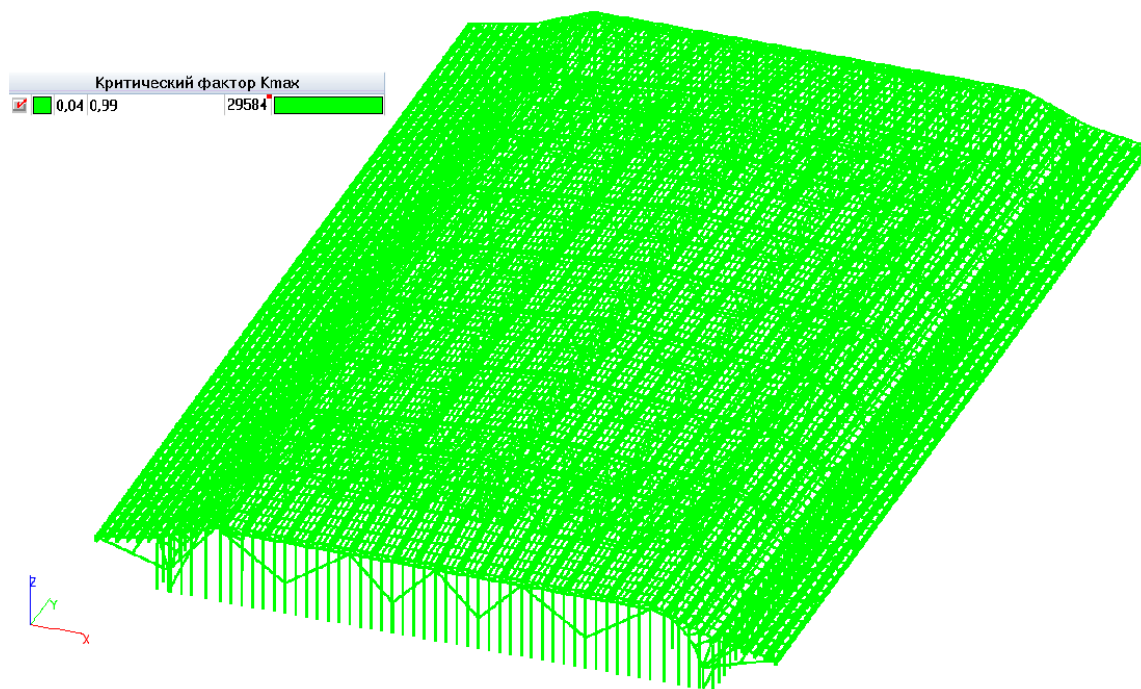


Рисунок 114 – Критический фактор при расчете на удар грузового автомобиля в динамической постановке

### 3.4 Расчет каркаса на внутренний взрыв. Анализ результатов расчета

Согласно [13] в качестве расчетной нагрузки на несущие конструкции при взрывах в закрытых помещениях объемом до 1000 м<sup>3</sup> с вентилируемыми проемами (окнами, дверьми и легкобрасываемыми конструкциями) необходимо учитывать статическое давление взрыва, кПа, равное наибольшему из значений:

$$p_d = 3 + p_v, \quad (3.1)$$

$$p_d = 3 + 0,5p_v + 0,04/(A_v / V)^2 \quad (3.2)$$

где  $A_v$  - площадь вентилируемых проемов (окон, дверей, перегородок и других легкобрасываемых конструкций), м<sup>2</sup>;

$V$  - объем помещения, м<sup>3</sup>;

$p_v$  - давление активации вентилируемого элемента, кПа, при котором происходит нарушение герметичности помещения (разрушение окон, дверей, мембранных ограждений) или срабатывает механизм предустановленных легкобрасываемых строительных элементов конструкции.

Численные значения давления активации для технического стекла приняты в соответствии с [17].

Согласно [13] отношение площади вентилируемого проема к объему помещения должно составлять не менее 0,05, но не более 0,15.

Предполагаемый участок взрыва приведен на рисунке 115. Примерный объем выбранного помещения составляет 950 м<sup>3</sup>. Предположим, что в выбранном помещении общая площадь окон и проемов составляет 50 м<sup>2</sup>.

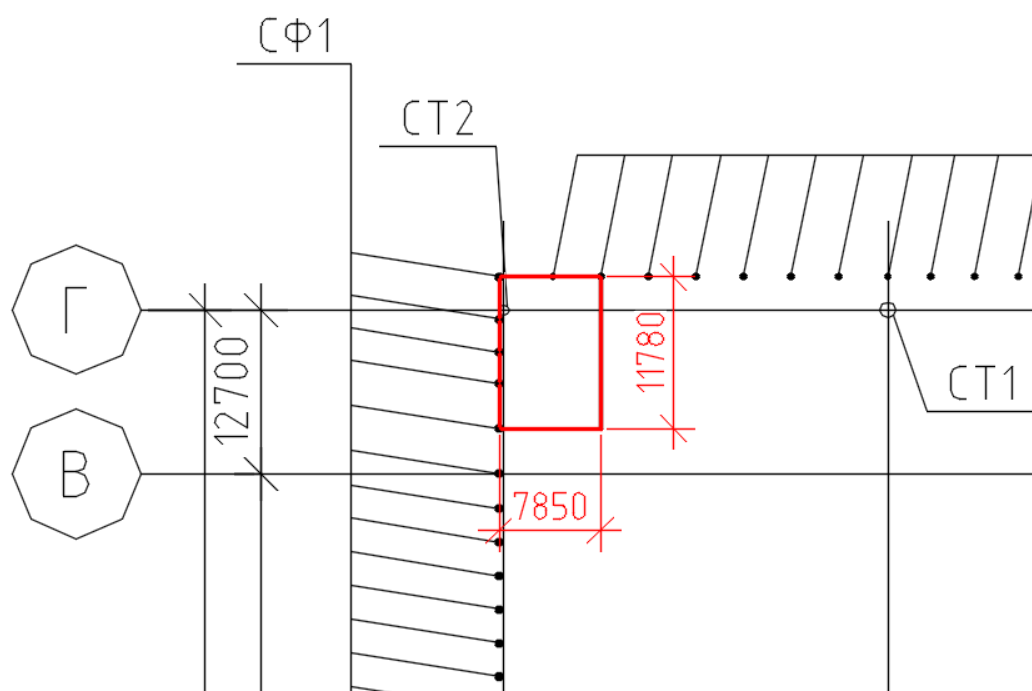


Рисунок 115 – Предполагаемый участок взрыва



Отношение площади проемов к объему помещения составляет

$$0,05 < \frac{A_v}{V} = \frac{50}{950} = 0,053 < 0,15$$

Согласно [18] давление активации составляет 0,7 кПа.

Определим статическое давление взрыва по формулам (3.1) и (3.2)

$$p_d = 3 + 0,7 = 3,7 \text{ кПа,}$$

$$p_d = 3 + 0,5 \cdot 0,7 + 0,04 / (50/950)^2 = 17,8 \text{ кПа.}$$

Наибольшее значение статического давления взрыва составляет 17,8 кПа.

Нагрузку, прикладываемую к элементам каркаса, которые попали в участок взрыва переводим в погонную, путем деления на шаг конструкций.

Приложение нагрузки от внутреннего взрыва приведено на рисунке 116.

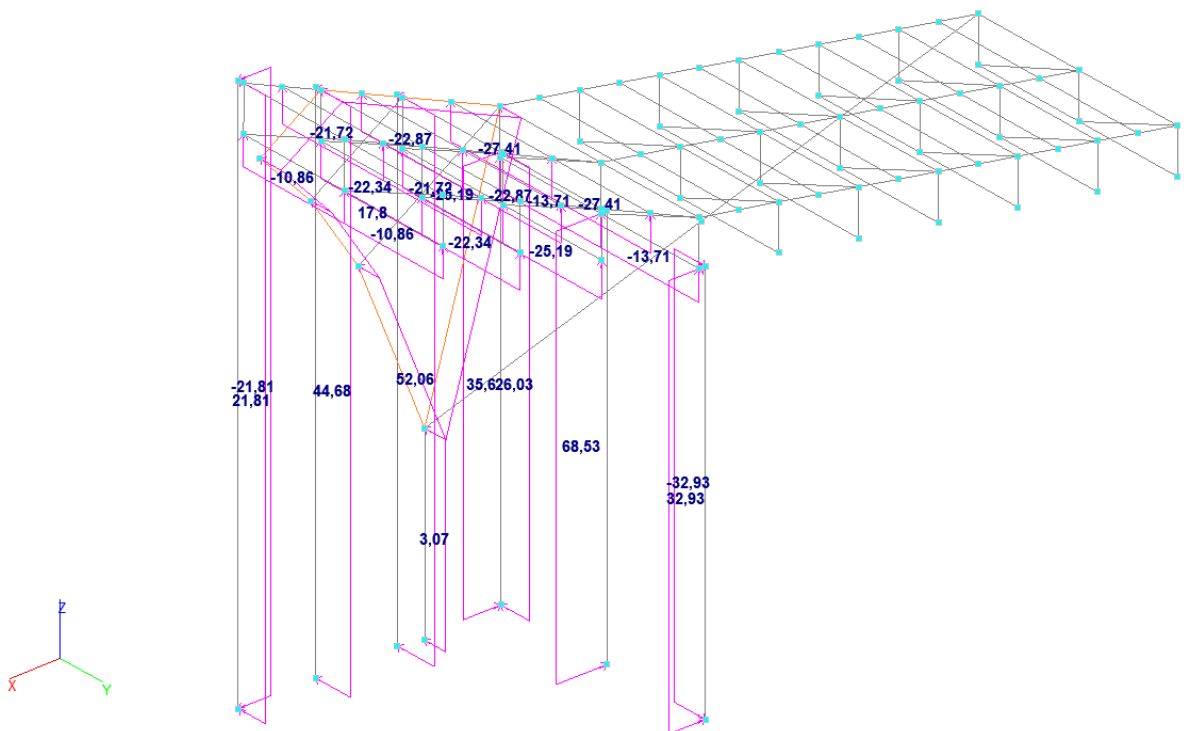


Рисунок 116 – Нагрузка от внутреннего взрыва внутри помещения

В результате расчета критический фактор больше единицы всего для 23 элементов (Рисунок 117). Несущая решетчатая стойка, на которую тоже прикладывалось статическое давление от взрыва, осталась в рабочем состоянии. Выходят из строя в основном стойки фахверка.

Расчетные сочетания перемещений приведены на рисунке 118, характер деформирования каркаса приведен на рисунке 119.

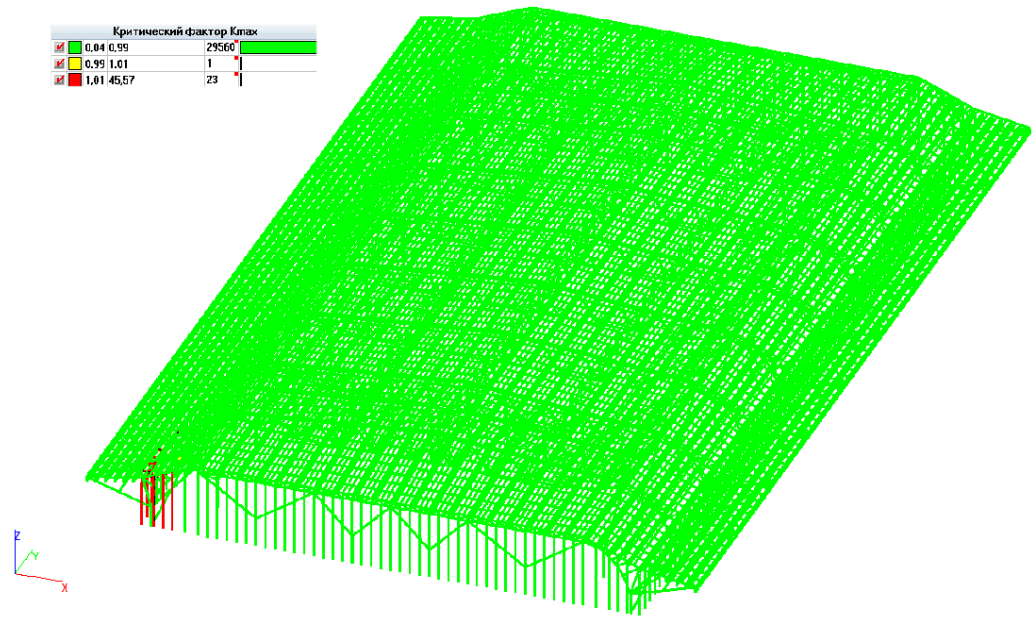


Рисунок 117 – Критический фактор при взрыве

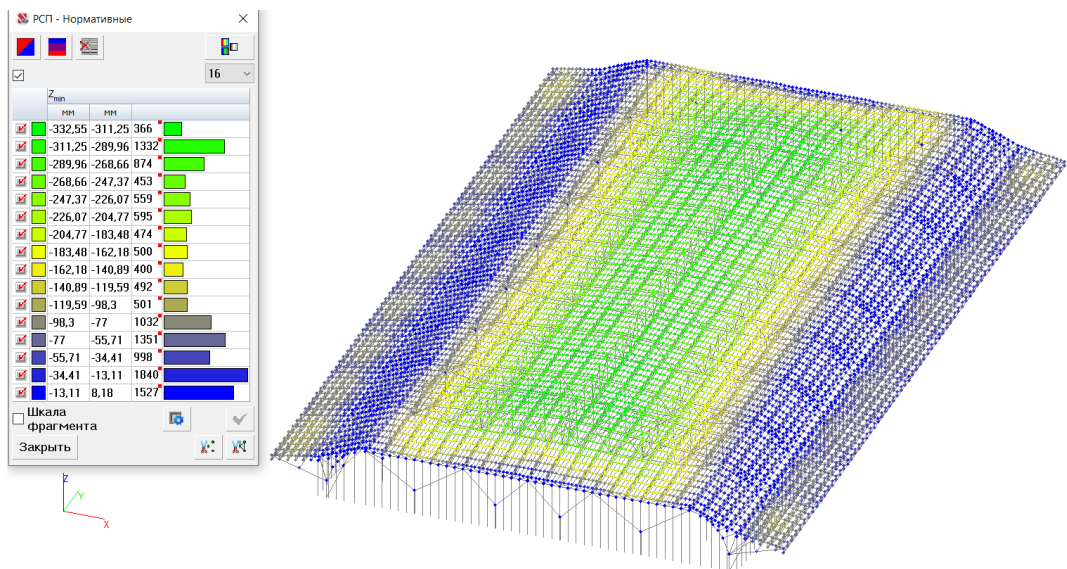


Рисунок 118 – Расчетные сочетания перемещений

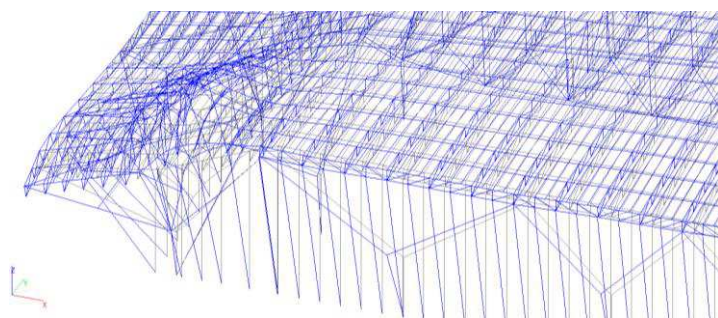


Рисунок 119 – Деформированная схема от взрывной нагрузки

### 3.5 Анализ влияния особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса

Результаты численных исследований влияния особых нагрузок техногенного характера на каркас здания (значения критического фактора, а также величины максимальных вертикальных перемещений при воздействии особых видов нагрузок) приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Сопоставление результатов расчета на особые виды нагрузок

Вид особой нагрузки		Критический фактор $K_{max}$ (кол-во элементов, попадающих в интервал)			Максимальное вертикальное перемещение, мм
		<0,99	0,99-1,01	>1,01	
Прогрессирующее обрушение	Элемент угловой решетчатой стойки	29485	2	96	-330,18
	Элемент самой нагруженной решетчатой стойки	29342	10	231	-332,52
	Элемент колонны-связи	29567	0	16	-337,06
	Элемент нижнего пояса фермы	28969	45	569	-618,81
	Элемент верхнего пояса фермы	29574	0	9	-333,85
Удар автотранспортного средства		29584	0	0	-332,55
Внутренний взрыв		29560	1	23	-332,55

По результатам численных исследований из расчетов металлического каркаса на особые виды нагрузок можно сделать вывод о том, что наиболее опасная ситуация возникнет при выходе из строя элемента нижнего пояса фермы. Но, в то же время, анализируя критический фактор и деформирование элементов каркаса, можно сделать вывод о том, что вероятность прогрессирующего обрушения всего здания незначительна. Элементы вертикальных связевых ферм, введенные в каркас при создании расчетной схемы, способствуют перераспределению усилий.

Второй по степени опасности соответствует особое предельное состояние, при выходе из строя элемента самой нагруженной решетчатой стойки. Характер разрушения несет локальный характер, ведь Y-образные связи-колонны также способствуют перераспределению усилий.

Третьей по степени опасности соответствует особое предельное состояние, при выходе из строя элемента самой угловой решетчатой стойки. Количество выходящих из строя элементов меньше, чем в случае с самой нагруженной стойкой почти в 2,5 раза.

Особые предельные состояния при выходе из строя элементов колонны-связи и верхнего пояса фермы при расчете на прогрессирующее обрушение несут менее опасный характер.

Расчет на удар грузового автомобиля показал, что напряженно-деформированное состояние элементов каркаса после удара будет оставаться в допустимых пределах. Критический фактор для всех элементов остался меньше 1. Несущая способность элемента решетчатой стойки выдерживает нагрузку от удара грузового автотранспорта.

При расчете каркаса на взрыв удалось выявить, что разрушение будет нести локальный характер. В основном выходят из строя стойки фахверка и прогоны. В то же время элементы решетчатой стойки остались работающими, и перемещения всех элементов каркаса остались в пределах допустимых.

Исходя из результатов расчетов, можно сделать вывод об устойчивости каркаса уникального здания к особым видам нагрузок. Принятые конструктивные решения, а также введенные связевые элементы (вертикальные связевые фермы, связи по нижним и верхним поясам ферм, колонны-связи, крестовые связи по консоли и опорным частям решетчатых стоек) способствуют перераспределению усилий при особых воздействиях и защищают каркас от обрушения.

### **3.6 Разработка конструктивных решений элементов каркаса здания**

Так как в соответствии с [19] уникальное здание относится к повышенному уровню ответственности, в расчетных формулах все усилия умножаются на коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n=1,1$ .

#### **3.6.1 Ручной расчет решетчатой стойки**

Произведем проверку элементов несущей решетчатой стойки: сжатый опорный элемент, сжатый элемент нижнего пояса, растянутый элемент верхнего пояса.

Фрагмент решетчатой стойки на расчетной модели с отображением изгибающих моментов в элементах приведен на рисунке 120.

PCU

16

M <sub>y</sub>		
кН*м	кН*м	
-5602,44	-4960,96	4
-4960,96	-4319,47	18
-4319,47	-3677,99	2
-3677,99	-3036,5	2
-3036,5	-2395,02	18
-2395,02	-1753,53	28
-1753,53	-1112,05	34
-1112,05	-470,56	144
-470,56	170,93	28758
170,93	812,41	306
812,41	1453,9	152
1453,9	2095,38	98
2095,38	2736,87	12
2736,87	3378,35	0
3378,35	4019,84	0
4019,84	4661,32	8

Шкала фрагмента

Закрывать

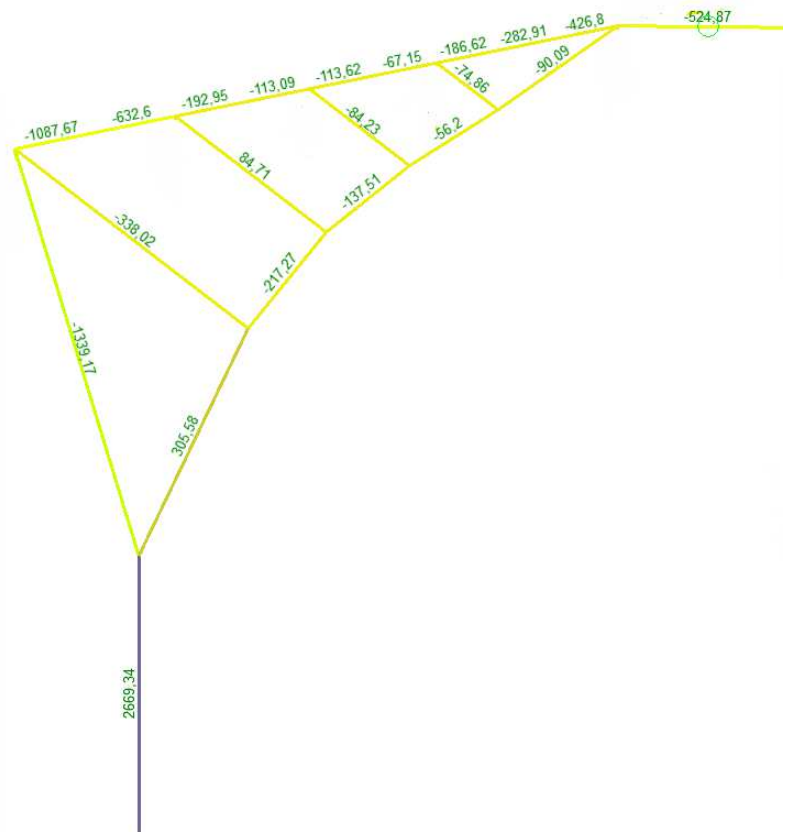


Рисунок 120 – Фрагмент решетчатой стойки

### Проверка опорного сжатого элемента решетчатой стойки

Произведем проверку сжатого опорного элемента решетчатой стойки.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 5,8$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1$  [20, табл.1];
- $N = -3965,56$  кН;
- $M_x = 232,37$  кН·м;
- $M_y = 2669,34$  кН·м;
- конструктивная группа – решетчатая-стойка;
- материал – сталь С345;  $R_y = 300$  МПа,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина сжатого опорного элемента решетчатой стойки принята в соответствии с [20, табл. 26]:  $l_{ef,x} = l = 5,8$  м;  $l_{ef,y} = l = 5,8$  м.

Принимаем сечение  $\circ 820 \times 25$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 624,392$  см<sup>2</sup>;  $W_x = W_y = 12043,333$  см<sup>3</sup>;  $i_x = i_y = 28,121$  см.

Расчет на прочность сжато-изгибаемых и растянуто-изгибаемых элементов из стали следует производить по формуле:

$$\left( \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x \cdot W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y \cdot W_y \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (3.3)$$

где  $N, M_x, M_y$  – значения продольной силы и изгибающих моментов;

$A$  – площадь сечения, см<sup>2</sup>;

$W_x, W_y$  – моменты сопротивления сечения относительно осей  $x, y$ , м<sup>2</sup>;

$n, c_x, c_y$  – коэффициенты, определяемые по [20, прил. Е.1];

$R_y$  – расчетное сопротивление стали, МПа;

$\gamma_c$  – коэффициент условия работы.

Расчет на устойчивость стержней сплошного постоянного сечения, подверженных сжатию и изгибу в двух главных плоскостях следует производить по формуле

$$\frac{N}{\varphi_{exy} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (3.4)$$

где  $N, A, R_y, \gamma_c$  – то же, что в формуле (3.3);

$\varphi_{exy}$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\varphi_{exy} = \varphi_{ey} \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{c} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{c}), \quad (3.5)$$

где  $\varphi_{ey}$  – коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом, определяемый по [20, табл. Д.3], в зависимости от условной гибкости  $\bar{\lambda}$  и приведенного относительного эксцентриситета  $m_{ef}$ , определяемого по формуле

$$m_{ef} = \eta \cdot m, \quad (3.6)$$

где  $\eta$  – коэффициент влияния формы сечения, определяемый по [20, табл. Д.2];

$m$  – относительный эксцентриситет, определяемый по формуле

$$m = \frac{e \cdot A}{W}, \quad (3.7)$$

где  $A$  – то же, что в формуле (3.3);

$W$  – момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>;

$e$  – эксцентриситет, см, определяемый по формуле

$$e = \frac{M}{N}, \quad (3.8)$$

где  $M$  и  $N$  – значения изгибающего момента и продольной силы.

Гибкость стержня определяется по формуле

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (3.9)$$

где  $i$  – радиус инерции сечения, см;

$l_{ef}$  – расчетная длина элемента, см, определяемая по [20, табл. 24].

Условная гибкость стержня определяется по формуле

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (3.10)$$

где  $R_y$  – то же, что в формуле (3.3);

$E$  – модуль упругости стали, МПа;

$\lambda$  – наименьшая гибкость элемента, определяемая по формуле (3.9).

Предельная гибкость стержня определяется по формуле

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot \alpha, \quad (3.11)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (3.12)$$

где  $N, A, R_y, \gamma_c$  – то же, что в формуле (3.3);

$\varphi$  – коэффициент устойчивости, определяемый в соответствии с [20, табл. Д.1].

Проверим прочность опорного элемента решетчатой стойки по формуле (3.3)

$$\left( \frac{3965,56 \cdot 1,1}{624,392 \cdot 300 \cdot 10^{-1} \cdot 1} \right)^{1,5} + \frac{232,37 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 12043,333 \cdot 300 \cdot 10^{-3} \cdot 1} + \frac{2669,34 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 12043,333 \cdot 300 \cdot 10^{-3} \cdot 1} = 0,93 < 1.$$

Условие прочности удовлетворяется, запас прочности составляет 7%.

Определим гибкость для опорного элемента решетчатой стойки по формуле (3.9)

$$\lambda = \frac{5,8 \cdot 10^2}{28,121} = 19,6.$$

Определим условную гибкость по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda} = 19,6 \cdot \sqrt{\frac{300}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,75.$$

Определим эксцентриситет по формуле (3.8)

$$e = \frac{2669,17 \cdot 10^2}{3965,56} = 67,3 \text{ см.}$$

Определим относительный эксцентриситет по формуле (3.7)

$$m = \frac{67,3 \cdot 624,392}{12043,333} = 3,5.$$

Коэффициент  $\eta$  определяется по формуле

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}. \quad (3.13)$$

Подставляя значения в формулу (3.13), получаем

$$\eta = (1,35 - 0,05 \cdot 3,5) - 0,01(5 - 3,5) \cdot 0,75 = 1,2.$$

Определяем приведенный относительный эксцентриситет по формуле (3.6)

$$m_{ef} = \eta \cdot m = 1,2 \cdot 3,5 = 4,2.$$

Определяем коэффициент  $\varphi_{ey}$  по [20, табл. Д.3].

Принимаем  $\varphi_{ey} = 0,36$ .

Коэффициент  $c$  определяется по формуле

$$c = \frac{\beta}{(1 + \alpha \cdot m)} \leq 1, \quad (3.14)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, определяемые по [12, табл. 21];

$m$  – то же, что в формуле (3.6).

Принимаем  $\beta = 1$ ,  $\alpha = 0,4$  и получаем

$$c = \frac{1}{1 + 0,4 \cdot 4,2} = 0,37 < 1.$$

Определим  $\varphi_{exy}$  по формуле (3.5)

$$\varphi_{exy} = \varphi_{ey} \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{c} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{c}) = 0,36 \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{0,37} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{0,37}) = 0,26.$$

Выполним проверку раскоса на устойчивость по формуле (3.4)

$$\frac{3965,56}{0,26 \cdot 624,392 \cdot 300 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,81 \leq 1.$$



Следовательно, устойчивость опорного элемента решетчатой стойки при сжатии с изгибом в двух плоскостях обеспечена.

Выполним проверку опорного элемента по предельной гибкости. Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{3965,56 \cdot 1,1}{0,986 \cdot 624,392 \cdot 300 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,24.$$

Определим предельную гибкость стержня по формуле (3.11)

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,24 = 166.$$

$$\lambda = 19,6 < 166 = [\lambda], \text{ условие выполняется.}$$

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{19,6}{166} = 0,12;$$

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность, устойчивость и гибкость опорного элемента решетчатой стойки (Рисунок 121). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

Диаграмма факторов [Конструктивная группа консоль (ст). Элемент № 2000 ] [СП 16.13330.2017 с изменениями №1,2] X

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность при действии изгибающего момента $M_y$	п. 8.2.1	0,81		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при действии изгибающего момента $M_z$	п. 8.2.1	0,07		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при действии поперечной силы $Q_y$	п. 8.2.1	0,01		L1+L3+L6+L7+0.9*L8
Прочность при действии поперечной силы $Q_z$	п. 8.2.1	0,16		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	п. 9.1.1	0,94		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,12		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,12		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	0,81		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Предельная гибкость в плоскости XOY	п. 10.4.1	0,14		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Предельная гибкость в плоскости XOZ	п. 10.4.1	0,14		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,19		L1+L2+L6+L7+0.9*L8

Отчет OK

Рисунок 121 – Диаграмма факторов для опорного элемента решетчатой стойки

## Проверка сжатого элемента нижнего пояса решетчатой стойки

Произведем проверку сжатого элемента нижнего пояса решетчатой стойки.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 3,56$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1$  [20, табл.1];
- $N = -1115,95$  кН;
- $M_x = -210,2$  кН·м;
- $M_y = -524,87$  кН·м;
- конструктивная группа – решетчатая-стойка;
- материал – сталь С345;  $R_y = 320$  МПа,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина сжатого элемента нижнего пояса решетчатой стойки принята в соответствии с [20, табл. 26]:  $l_{ef,x} = l = 3,56$  м;  $l_{ef,y} = l = 3,56$  м.

Принимаем сечение  $\circ 530 \times 15$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 242,688$  см<sup>2</sup>;  $W_x = W_y = 3038,752$  см<sup>3</sup>;  $i_x = i_y = 18,216$  см.

Проверим прочность элемента нижнего пояса решетчатой стойки по формуле

$$\left( \frac{1115,95 \cdot 1,1}{242,688 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} \right)^{1,5} + \frac{210,2 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 3038,752 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} + \frac{524,87 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 3038,752 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} = 0,75 < 1.$$

Условие прочности удовлетворяется, запас прочности составляет 25%.

Определим гибкость для элемента нижнего пояса решетчатой стойки по формуле (3.9)

$$\lambda = \frac{3,56 \cdot 10^2}{18,216} = 19,6.$$

Определим условную гибкость по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda} = 19,6 \cdot \sqrt{\frac{300}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,75.$$

Определим эксцентриситет по формуле (3.8)

$$e = \frac{524,87 \cdot 10^2}{1115,95} = 47 \text{ см.}$$

Определим относительный эксцентриситет по формуле (3.7)

$$m = \frac{47 \cdot 242,688}{3038,752} = 3,75.$$

Коэффициент  $\eta$  определяем по формуле (3.13)

$$\eta = (1,35 - 0,05 \cdot 3,75) - 0,01(5 - 3,75) \cdot 0,75 = 1,2.$$

Определяем приведенный относительный эксцентриситет по формуле (3.6)

$$m_{ef} = \eta \cdot m = 1,2 \cdot 3,75 = 4,5.$$

Определяем коэффициент  $\varphi_{ey}$  по [20, табл. Д.3]. Принимаем  $\varphi_{ey} = 0,295$ .

Коэффициент  $c$  определяем по формуле (3.14).

Принимаем  $\beta = 1$ ,  $\alpha = 0,875$  по [12, табл. 21] и получаем

$$c = \frac{1}{1 + 0,875 \cdot 4,5} = 0,2 < 1.$$

Определим  $\varphi_{exy}$  по формуле (3.5)

$$\varphi_{exy} = 0,295 \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{0,2} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{0,2}) = 0,2.$$

Выполним проверку раскоса на устойчивость по формуле (3.4)

$$\frac{1115,95 \cdot 1,1}{0,2 \cdot 242,688 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,79 \leq 1.$$

Следовательно, устойчивость сжатого элемента нижнего пояса решетчатой стойки при сжатии с изгибом в двух плоскостях обеспечена.

Выполним проверку сжатого элемента нижнего пояса решетчатой стойки по предельной гибкости.

Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{1115,95 \cdot 1,1}{0,984 \cdot 242,688 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,2.$$

Определим предельную гибкость стержня по формуле (3.11)

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,24 = 168.$$

$$\lambda = 19,6 < 168 = [\lambda], \text{ условие выполняется.}$$

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{19,6}{168} = 0,12;$$

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность, устойчивость и гибкость сжатого элемента нижнего пояса решетчатой стойки (Рисунок 122). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

Диаграмма факторов [Конструктивная группа консоль в.п. д., Элемент № 2007 ] [СП 16.13330.2017 с изменениями №...

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность при действии изгибающего момента $M_y$	п. 8.2.1	0,59		L1+L2+L6+L7
Прочность при действии изгибающего момента $M_z$	п. 8.2.1	0,25		L1+L2+L6+L7
Прочность при действии поперечной силы $Q_y$	п. 8.2.1	0,06		L1+L2+L6+L7
Прочность при действии поперечной силы $Q_z$	п. 8.2.1	0,07		L1+L2+L6+L7
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластичности	п. 9.1.1	0,8		L1+L2+L6+L7
Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,16		L1+L2+L6+L7
Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,16		L1+L2+L6+L7
Устойчивость в плоскости действия момента $M_z$ при внецентренном сжатии	пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	0,31		L1+L2+L6+L7
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	0,77		L1+L2+L6+L7
Предельная гибкость в плоскости XOY	п. 10.4.1	0,13		L1+L6+L7+L9
Предельная гибкость в плоскости XOZ	п. 10.4.1	0,13		L1+L6+L7+L9
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,22		L1+L6+L7+L9

Рисунок 122 – Диаграмма факторов для элемента нижнего пояса решетчатой стойки

### Проверка растянутого элемента верхнего пояса решетчатой стойки

Произведем проверку растянутого элемента верхнего пояса решетчатой стойки.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 1,67$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1$  [20, табл.1];
- $N = 1232,76$  кН;
- $M_x = -233,58$  кН·м;
- $M_y = -1087,67$  кН·м;
- конструктивная группа – решетчатая-стойка;
- материал – сталь С345;  $R_y = 320$  МПа,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина растянутого элемента верхнего пояса решетчатой стойки принята в соответствии с [20, табл. 26]:  $l_{ef,x} = l = 1,67$  м;  $l_{ef,y} = l = 1,67$  м.

Принимаем сечение  $\circ 530 \times 20$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 320,442$  см<sup>2</sup>;  $W_x = W_y = 3937,512$  см<sup>3</sup>;  $i_x = i_y = 18,045$  см.

Проверим прочность элемента верхнего пояса решетчатой стойки по формуле (3.3)

$$\left( \frac{1232,76 \cdot 1,1}{320,442 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} \right)^{1,5} + \frac{233,58 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 3937,512 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} + \frac{1087,67 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 3937,512 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} = 0,95 < 1.$$

Условие прочности удовлетворяется, запас прочности составляет 5 %.

Определим гибкость для элемента верхнего пояса решетчатой стойки по формуле (3.9)

$$\lambda = \frac{1,67 \cdot 10^2}{18,045} = 9,3.$$

Определим условную гибкость по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda} = 9,3 \cdot \sqrt{\frac{300}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,4.$$

Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{1232,76 \cdot 1,1}{1 \cdot 320,442 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,13.$$

В соответствии с [20] предельная гибкость стержня при воздействии динамических нагрузок для растянутых элементов составляет  $[\lambda] = 250$ .

$\lambda = 9,3 < 250 = [\lambda]$ , условие выполняется.

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{9,3}{250} = 0,04.$$

С помощью ПК SCAD проверяем прочность и гибкость растянутого элемента нижнего пояса решетчатой стойки (Рисунок 123). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность при действии изгибающего момента $M_y$	п. 8.2.1	0,95		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при действии изгибающего момента $M_z$	п. 8.2.1	0,2		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при действии поперечной силы $Q_y$	п. 8.2.1	0,08		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при действии поперечной силы $Q_z$	п. 8.2.1	0,11		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	п. 9.1.1	0,82		L1+L2+L6+L7+0.9*L8
Предельная гибкость в плоскости XOY	п. 10.4.1	0,04		L1+L6+L7+L9
Предельная гибкость в плоскости XOZ	п. 10.4.1	0,04		L1+L6+L7+L9
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,16		L1+L6+L7+L9

Рисунок 123 – Диаграмма факторов для элемента верхнего пояса решетчатой стойки

### 3.6.2 Ручной расчет фермы

#### Проверка элемента верхнего пояса фермы

Произведем проверку максимально нагруженного сжатого элемента верхнего пояса фермы.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 5,22$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c = 0,9$  [20, табл.1];
- $N = -5518,69$  кН;
- конструктивная группа – верхний пояс;
- материал пояса – сталь С345;  $R_y = 340$  МПа,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина элемента верхнего пояса фермы принята в соответствии с [20, табл.24]:  $l_{ef,x} = l = 5,22$  м;  $l_{ef,y} = l = 5,22$  м.

Принимаем сечение  $\circ 820 \times 10$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 254,469$  см<sup>2</sup>;  $i_x = i_y = 28,64$  см.

Устойчивость пояса следует проверять по формуле

$$\frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (3.15)$$

где  $N$  – то же, что в формуле (3.3);

$\varphi$  – то же, что в формуле (3.3);

$A$  – то же, что в формуле (3.3);  
 $R_y$  – то же, что в формуле (3.3);  
 $\gamma_c$  – то же, что в формуле (3.3).  
 Прочность пояса следует проверять по формуле

$$\frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (3.16)$$

где  $N$  – то же, что в формуле (3.3);  
 $A$  – то же, что в формуле (3.3);  
 $R_y$  – то же, что в формуле (3.3);  
 $\gamma_c$  – то же, что в формуле (3.3).  
 Определим гибкость стержня по формуле (3.9):

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{5,22 \cdot 10^2}{28,64} = 18,23;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{5,22 \cdot 10^2}{28,64} = 18,23.$$

Определим условную гибкость стержня по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 18,23 \cdot \sqrt{\frac{300}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,7;$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 10,23 \cdot \sqrt{\frac{300}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,7.$$

Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{5518,69 \cdot 1,1}{0,9875 \cdot 254,469 \cdot 340 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,8.$$

Определим предельную гибкость стержня по формуле (3.11)

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,8 = 132.$$

$\lambda_x$  и  $\lambda_y < [\lambda]$ , условие выполняется.

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{18,23}{132} = 0,14;$$

Проверим устойчивость сжатого пояса по формуле (3.15)

$$\frac{5518,69 \cdot 1,1}{0,9875 \cdot 254,469 \cdot 340 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,79 < 1.$$

Проверим прочность сжатого пояса по формуле (3.16)

$$\frac{5518,69 \cdot 1,1}{254,469 \cdot 340 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,8 < 1.$$

Условие выполняется, прочность обеспечена с запасом 20 %.

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность, устойчивость и гибкость элемента верхнего пояса фермы (Рисунок 124). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

Диаграмма факторов [Конструктивная группа ферма. верхний пояс. Элемент № 707 ] [СП 16.13330.2017 с изменения...]

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность элемента	п. 7.1.1	0,78		L1+L3+L6+L7
Устойчивость элемента в плоскости фермы	п. 7.1.3	0,79		L1+L3+L6+L7
Устойчивость элемента из плоскости фермы	п. 7.1.3	0,78		L1+L3+L6+L7
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,52		L1+L3+L6+L7+0.9*L8
Устойчивость	пп. 11.2.1-11.2.9	0,79		L1+L3+L6+L7
Предельная гибкость в плоскости фермы	п. 10.4.1	0,14		L1+L3+L6+L7

Рисунок 124 – Диаграмма факторов для элемента верхнего пояса фермы

### Проверка элемента нижнего пояса фермы

Произведем проверку самого нагруженного растянутого элемента нижнего пояса фермы.

Исходные данные:

- длина элемента  $l=10,4$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c=0,9$  [20, табл.1];
- $N = 18614,1$  кН;
- конструктивная группа – нижний пояс;
- материал пояса – сталь С345;  $R_y=300$  МПа,  $E=2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина элементов нижнего пояса фермы принята в соответствии с [20, табл.24]:  $l_{ef,x} = l = 10,4$  м;  $l_{ef,y} = l_1 = 26$  м,



где  $l_1$  - расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы.

Принимаем сечение  $\circ 1220 \times 30$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 1121,549 \text{ см}^2$ ;  $i_x = i_y = 42,086 \text{ см}$ .

Определим гибкость стержня по формуле (3.9)

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{10,4 \cdot 10^2}{42,086} = 24,71;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{26 \cdot 10^2}{42,086} = 61,78.$$

В соответствии с [20] предельная гибкость стержня при воздействии динамических нагрузок для растянутых элементов составляет  $[\lambda]=250$ .

$$\lambda = 61,78 < 250 = [\lambda], \text{ условие выполняется.}$$

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{61,78}{250} = 0,25.$$

Проверим прочность элемента растянутого пояса по формуле (3.16)

$$\frac{18614,1 \cdot 1,1}{1121,549 \cdot 300 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,7 < 1$$

Условие выполняется, прочность обеспечена с запасом 30 %.

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность и гибкость элемента нижнего пояса фермы (Рисунок 125). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

❗ Диаграмма факторов [Конструктивная группа ферма. нижний пояс (нераскр). Элемент № 665 ] [СП 16.13330.2017 с и... X





Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность элемента	п. 7.1.1	0,68		L1+L3+L6+L7
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,24		L1+L3+L6+L7
Предельная гибкость из плоскости фермы	п. 10.4.1	0,25		L1+L6+L7+L8
Предельная гибкость в плоскости фермы	п. 10.4.1	0,1		L1+L6+L7+L8

Рисунок 125 – Диаграмма факторов для элемента нижнего пояса фермы

## Проверка опорного раскоса фермы

Проведем проверку максимального нагруженного сжатого опорного раскоса фермы.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 6,24$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c = 0,9$  [20, табл.1];
- $N = -4523,91$  кН;
- конструктивная группа – раскосы;
- материал пояса – сталь С345;  $R_y = 340$  МПа,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина опорного раскоса принята в соответствии с [20, табл.24]:

$$l_{ef,x} = l = 6,24; \quad l_{ef,y} = l = 6,24.$$

Принимаем сечение  $\circ 630 \times 10$  мм с геометрическими характеристиками [10]:

$$A = 194,779 \text{ см}^2; \quad i_x = i_y = 21,923 \text{ см.}$$

Определим гибкость стержня по формуле (3.9)

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{6,24 \cdot 10^2}{21,923} = 28,46;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{6,24 \cdot 10^2}{21,923} = 28,46.$$

Определим условную гибкость стержня по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 28,46 \cdot \sqrt{\frac{340}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,2;$$

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 28,46 \cdot \sqrt{\frac{340}{2,06 \cdot 10^5}} = 1,2.$$

Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{4523,91 \cdot 1,1}{0,953 \cdot 194,779 \cdot 340 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,9.$$

Определим предельную гибкость стержня по формуле (3.11)

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,9 = 126.$$

$\lambda_x$  и  $\lambda_y < [\lambda]$ , условие выполняется.

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{28,46}{126} = 0,23;$$

Проверим устойчивость сжатого раскоса по формуле (3.15)


$$\frac{4523,91 \cdot 1,1}{0,953 \cdot 194,779 \cdot 340 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,87 < 1.$$

Проверим прочность сжатого раскоса по формуле (3.16)

$$\frac{4523,91 \cdot 1,1}{194,779 \cdot 340 \cdot 10^{-1} \cdot 0,9} = 0,83 < 1.$$

Условие выполняется, прочность обеспечена с запасом 17 %.

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность, устойчивость и гибкость элемента опорного раскоса фермы (Рисунок 126). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

 Диаграмма факторов [Конструктивная группа ферма. раскосы д.. Элемент № 687 ] [СП 16.13330.2017 с изменениями... X

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность элемента	п. 7.1.1	0,83	<div style="width: 83%; background-color: green;"></div>	L1+L3+L6+L7
Устойчивость элемента в плоскости фермы	п. 7.1.3	0,87	<div style="width: 87%; background-color: green;"></div>	L1+L3+L6+L7
Устойчивость элемента из плоскости фермы	п. 7.1.3	0,87	<div style="width: 87%; background-color: green;"></div>	L1+L3+L6+L7
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,4	<div style="width: 40%; background-color: green;"></div>	L1+L6+L7+L8
Предельная гибкость из плоскости фермы	п. 10.4.1	0,22	<div style="width: 22%; background-color: green;"></div>	L1+L3+L6+L7
Предельная гибкость в плоскости фермы	п. 10.4.1	0,22	<div style="width: 22%; background-color: green;"></div>	L1+L3+L6+L7

Рисунок 126 – Диаграмма факторов для элемента раскоса фермы

### Расчет фланцевых соединений для верхнего пояса фермы

Расчетные усилия в верхнем поясе:  $N = -4828,64$  кН,  $M = 488,9$  кН · м.

Определим размеры фланца для соединения поясов отправочных элементов между собой.

Необходимое расстояние от оси пояса до оси болта находится по формуле

$$D_6 = D + 2 \cdot (S_1 + d_6 + И), \quad (3.17)$$

где  $D$  – внутренний диаметр трубы, мм;

$S_1$  – толщина стенки трубы, мм;

$d_6$  – диаметр болта, мм;  
И – нормативный зазор между гайкой и втулкой, принимаемый равным 6 мм.

Принимаем болты М48. Подставляя значения в формулу (3.17), получаем

$$D_6 = 800 + 2 \cdot (10 + 48 + 6) = 928 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фланца определяется по формуле

$$D_H = D_6 + a, \quad (3.18)$$

где  $a$  – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, для болта М48 принимаем 80 мм.

Определим наружный диаметр фланца по формуле (3.18)

$$D_H = 928 + 80 = 1008 \text{ мм.}$$

Принимаем наружный диаметр фланца 1100 мм.

Толщина фланца определяется по формуле

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6M_{\text{max}}}{bR_y \cdot \gamma_c}}, \quad (3.19)$$

где  $M_{\text{max}}$  – максимальный момент в соединении кН·м;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали, МПа;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы;

$b$  – ширина ослабленного сечения фланца, м, определяемая по формуле

$$b = D_H - D_m - 2 \cdot d_6, \quad (3.20)$$

где  $D_m$  – наружный диаметр трубы, мм;

Принимая  $D_m = 820$  мм, и подставляя значения в формулу (3.20) получаем

$$b = 1100 - 820 - 2 \cdot 48 = 184 \text{ мм.}$$

Подставляя значения в формулу (3.19), получаем

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 406,31}{0,184 \cdot 265 \cdot 10^3}} = 0,223 \text{ м.}$$

Максимальная толщина листового проката для стали С345 - 160 мм.

Конструктивно принимаем толщину фланца 100 мм. Фланец усиливаем ребрами жесткости.

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}1100 \times 100$  мм.

Количество болтов во фланцевом соединении определяется по формуле

$$N \leq n \cdot P_{bh}, \quad (3.21)$$

где  $n$  – количество болтов, шт;

$P_{bh}$  - усилие предварительного натяжения болта, определяемое по формуле

$$P_{bh} = \gamma \cdot R \cdot A_{bn}, \quad (3.22)$$

где  $\gamma_{b0} = 0,9$  - коэффициент, учитывающий явление релаксации при предварительном натяжении болтов;

$R_{bh}$  - расчетное сопротивление высокопрочного болта, принимаемое для болтов М48 – 420 МПа.

Подставляя значение в формулу (3.22), получаем

$$P_{bh} = 0,9 \cdot 420000 \cdot 0,001472 = 556,42 \text{ кН.}$$

Определим требуемое количество болтов из формулы (3.21)

$$n = \frac{4828,64}{556,42} = 8,67 \text{ шт}$$

Принимаем 10 болтов.

Проверим прочность сварного шва. Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод – Э50.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [20, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 215,6 \text{ МПа}$

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207 \text{ МПа}$ .

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,7 \cdot 215,6}{1,0 \cdot 207} = 0,73 < 1.$$

Расчет ведем на срез по металлу шва.

Принимаем катет шва по [20, табл. 38]  $k_f = 22 \text{ мм}$ , прочность шва проверяется по формуле

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (3.23)$$

где  $N$  - расчетное усилие, кН;

$\beta_f$  - коэффициент, определяемый по таблице [20, табл. 39];

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление стали по металлу шва, МПа;  
 $l_w$  - расчетная длина сварного шва, м, принимаемая на 10 мм меньше ее полной длины, определяемая по формуле

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01, \quad (3.24)$$

где  $D_m$  – наружный диаметр трубы, м.

Найдем расчётную длину сварного шва по формуле (3.24)

$$l_w = 3,14 \cdot 0,82 - 0,01 = 2,56 \text{ м},$$

Проверим условие прочности по формуле (3.23)

$$\frac{4828,64}{0,7 \cdot 0,022 \cdot 2,56 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,6 \leq 1.$$

Условие прочности выполняется.

Фланец для соединения элементов верхнего пояса фермы приведен на рисунке 127.

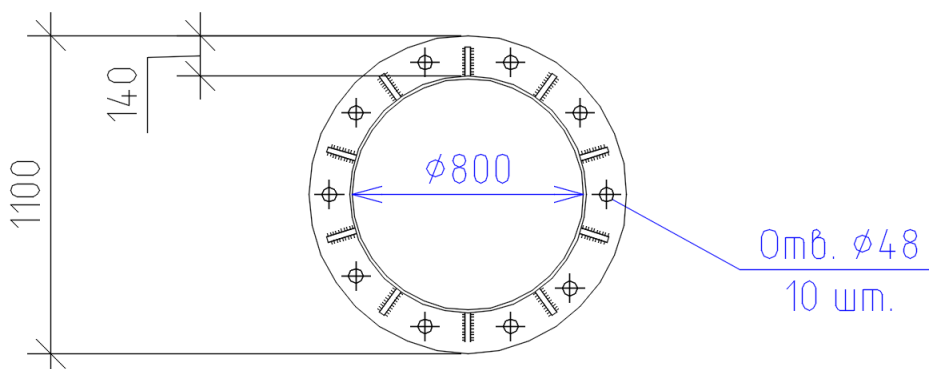


Рисунок 127 – Фланец для соединения элементов верхнего пояса фермы

### Расчет фланцевых соединений для нижнего пояса фермы

Расчетные усилия в нижнем поясе:  $N = 16194,21$  кН,  $M = 923,47$  кН · м.

Определим размеры фланца для соединения поясов отправочных элементов между собой.

Принимаем болты М56. Подставляя значения в формулу (3.17), найдем необходимое расстояние от оси пояса до оси болта

$$D_6 = 1160 + 2 \cdot (30 + 56 + 6) = 1344 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр фланца определяем по формуле (3.18), где  $a$  – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, для болта М56 принимаем 87 мм.

$$D_H = 1344 + 87 = 1431 \text{ мм.}$$

Принимаем наружный диаметр фланца 1540 мм.

Ширину ослабленного сечения фланца определим по формуле (3.20)

$$b = 1540 - 1220 - 2 \cdot 56 = 208 \text{ мм}$$

Толщину фланца определяем по формуле (3.19)

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 923,47}{0,208 \cdot 265 \cdot 10^3}} = 0,317 \text{ м.}$$

Максимальная толщина листового проката для стали С345 - 160 мм.

Конструктивно принимаем толщину фланца 150 мм. Фланец усиливаем ребрами жесткости.

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}1540 \times 150 \text{ мм}$ .

Определим количество болтов во фланцевом соединении по формуле (3.21).

Для этого найдем усилие предварительного натяжения болта, по формуле (3.22). Принимаем  $R_{bh} = 480 \text{ МПа}$  (расчетное сопротивление высокопрочного болта, принимаемое для болтов М56).

$$P_{bh} = 0,9 \cdot 480000 \cdot 0,002029 = 876,5 \text{ кН.}$$

Определим требуемое количество болтов из формулы (3.21)

$$n = \frac{16194,21}{876,5} = 18,5 \text{ шт}$$

Принимаем 20 болтов.

Проверим прочность сварного шва. Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод – Э50. Усилие в элементе  $N=12484,99 \text{ кН}$ .

Коэффициенты  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [20, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 215,6 \text{ МПа}$

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207 \text{ МПа}$ .

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,7 \cdot 215,6}{1,0 \cdot 207} = 0,73 < 1.$$

Расчет ведем на срез по металлу шва.

Принимаем катет шва по [20, табл. 38]  $k_f = 22$  мм, прочность шва проверяется по формуле (3.23). Определим расчетную длину сварного шва, м, принимаемую на 10 мм меньше ее полной длины по формуле (3.24)

$$l_w = 3,14 \cdot 1,220 - 0,01 = 3,82 \text{ м.}$$

Проверка условия прочности по формуле (3.23)

$$\frac{12484,99}{0,7 \cdot 0,022 \cdot 3,82 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,98 \leq 1.$$

Условие прочности выполняется.

Фланец для соединения элементов нижнего пояса фермы приведен на рисунке 128.

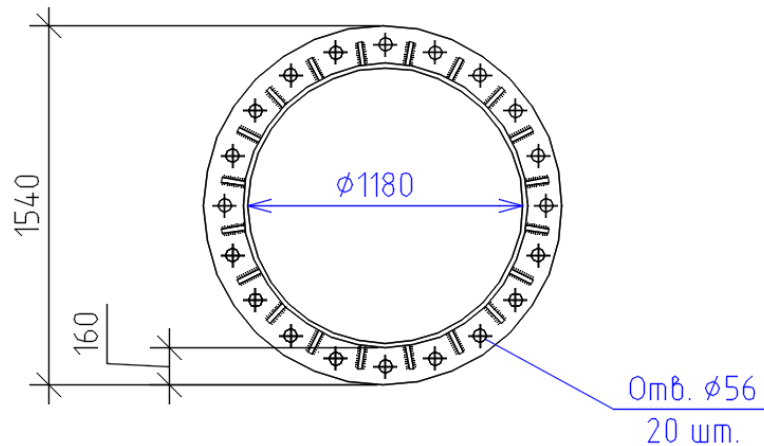


Рисунок 128 – Фланец для соединения элементов нижнего пояса фермы

### Расчет фланцевых соединений для раскоса фермы

Расчетные усилия в раскосе Ø630:  $N = -3467,7$  кН,  $M = 78,29$  кН · м.

Определим размеры фланца для соединения отправочных элементов между собой.

Принимаем болты М36. Подставляя значения в формулу (3.17), найдем необходимое расстояние от оси пояса до оси болта

$$D_6 = 610 + 2 \cdot (10 + 36 + 6) = 714 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фланца определяем по формуле (3.18), где  $a$  – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, для болта М36 принимаем 60 мм.



$$D_H = 714 + 60 = 774 \text{ мм.}$$

Принимаем наружный диаметр фланца 900 мм.

Ширину ослабленного сечения фланца определим по формуле (3.20)

$$b = 900 - 630 - 2 \cdot 36 = 198 \text{ мм}$$

Толщину фланца определяем по формуле (3.19)

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 78,29}{0,198 \cdot 265 \cdot 10^3}} = 0,1 \text{ м.}$$

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}900 \times 100 \text{ мм}$ .

Определим количество болтов во фланцевом соединении по формуле (3.21).

Для этого найдем усилие предварительного натяжения болта, по формуле (3.22). Принимаем  $R_{bh} = 560 \text{ МПа}$  (расчетное сопротивление высокопрочного болта, принимаемое для болтов М36).

$$P_{bh} = 0,9 \cdot 560000 \cdot 0,000816 = 411,3 \text{ кН.}$$

Определим требуемое количество болтов из формулы (3.21)

$$n = \frac{3467,7}{411,3} = 8,43 \text{ шт}$$

Принимаем 10 болтов.

Проверим прочность сварного шва. Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод – Э50.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [20, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 215,6 \text{ МПа}$

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207 \text{ МПа}$ .

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,7 \cdot 215,6}{1,0 \cdot 207} = 0,73 < 1.$$

Расчет ведем на срез по металлу шва.

Принимаем катет шва по [20, табл. 38]  $k_f = 22 \text{ мм}$ , прочность шва проверяется по формуле (3.23)

Определим расчетную длину сварного шва, м, принимаемую на 10 мм меньше ее полной длины по формуле (3.24)

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01 = 3,14 \cdot 0,630 - 0,01 = 1,97 \text{ м.}$$

Проверим условие прочности по формуле (3.23)

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{3467,7}{0,7 \cdot 0,022 \cdot 1,97 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,53 \leq 1.$$

Условие прочности выполняется.

Фланец для соединения элементов раскосов фермы диаметром 630 мм приведен на рисунке 129.

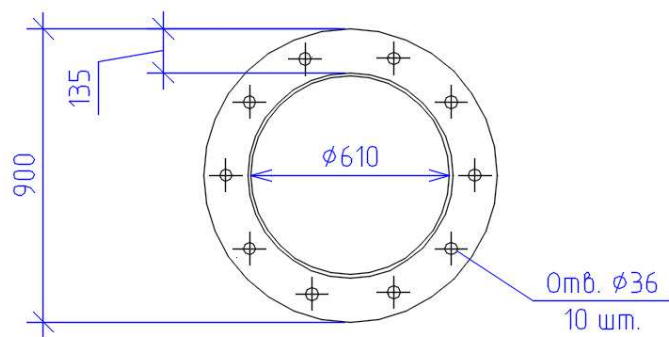


Рисунок 129 – Фланец для соединения элементов раскосов фермы диаметром 630мм

### Расчет фланцевых соединений для раскоса фермы

Расчетные усилия в раскосе Ø530:  $N = 869,24$  кН,  $M = 9,46$  кН · м.

Определим размеры фланца для соединения отправочных элементов между собой.

Принимаем болты М36. Подставляя значения в формулу (3.17), найдем необходимое расстояние от оси пояса до оси болта

$$D_6 = 520 + 2 \cdot (5 + 36 + 6) = 614 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фланца определяем по формуле (3.18), где  $a$  – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, для болта М36 принимаем 60 мм.

$$D_H = 614 + 60 = 674 \text{ мм.}$$

Принимаем наружный диаметр фланца 800 мм.

Ширину ослабленного сечения фланца определи по формуле (3.20)

$$b = 800 - 530 - 2 \cdot 36 = 198 \text{ мм}$$

Толщину фланца определяем по формуле (3.19)

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 9,46}{0,198 \cdot 265 \cdot 10^3}} = 0,032 \text{ м.}$$

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}800 \times 40 \text{ мм}$ .

Определим количество болтов во фланцевом соединении по формуле (3.21). Для этого найдем усилие предварительного натяжения болта, по формуле (3.22). Принимаем  $R_{bh} = 560 \text{ МПа}$  (расчетное сопротивление высокопрочного болта, принимаемое для болтов М36).

$$P_{bh} = 0,9 \cdot 560000 \cdot 0,000816 = 411,3 \text{ кН.}$$

Определим требуемое количество болтов из формулы (3.21)

$$n = \frac{869,24}{335,2} = 2,2 \text{ шт}$$

Принимаем 4 болта.

Проверим прочность сварного шва. Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод – Э50.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [20, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 215,6 \text{ МПа}$

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207 \text{ МПа}$ .

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,7 \cdot 215,6}{1,0 \cdot 207} = 0,73 < 1.$$

Расчет ведем на срез по металлу шва.

Принимаем катет шва по [20, табл. 38]  $k_f = 22 \text{ мм}$ , прочность шва проверяется по формуле (3.23)

Определим расчетную длину сварного шва, м, принимаемую на 10 мм меньше ее полной длины по формуле (3.24)

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01 = 3,14 \cdot 0,530 - 0,01 = 1,65 \text{ м.}$$

Проверка условия прочности по формуле (3.23)

$$\frac{869,24}{0,7 \cdot 0,022 \cdot 1,65 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,2 \leq 1.$$

Условие прочности выполняется. Для уменьшения запаса прочности, принимаем длину сварного шва  $l_w = 0,5 \text{ м.}$

Тогда

$$\frac{869,24}{0,7 \cdot 0,022 \cdot 1,65 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,52 \leq 1.$$

Условие прочности выполняется.

Фланец для соединения элементов раскосов фермы диаметром 630 мм приведен на рисунке 130.

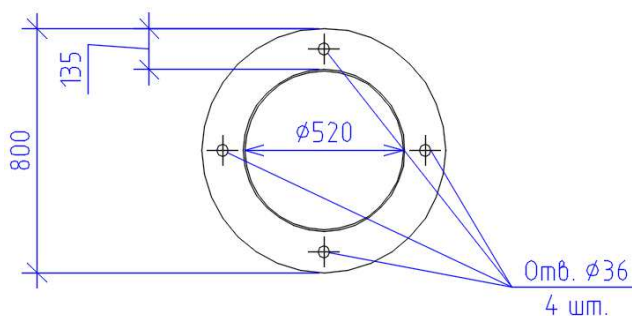


Рисунок 130 – Фланец для соединения элементов раскосов фермы диаметром 630мм

### Расчет болтового соединения крепления связей

Рассчитаем необходимое количество болтов для крепления связей по верхним и нижним поясам ферм.

Количество болтов из условия на срез определяется по формуле

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}, \quad (3.25)$$

где  $n_s$  – число расчетных срезов одного болта;

$R_{bs}$  – расчетное сопротивление болтов на срез, Н/мм<sup>2</sup>;

$A_b$  – площадь сечения болта брутто, см<sup>2</sup>;

$\gamma_b$  – коэффициент условия работы болта;

$\gamma_c$  – коэффициент условия работы.

Количество болтов из условия на смятие определяется по формуле

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}, \quad (3.26)$$

где  $R_{bp}$  – расчетное сопротивление болтов на смятие, Н/мм<sup>2</sup>;

$d_b$  – наружный диаметр стержня болта, мм;

$\sum t_{min}$  – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении, мм;

$\gamma_b$  – то же, что и в формуле (3.26);

$\gamma_c$  – то же, что и в формуле (3.26).

Для крепления связей по верхнему поясу ферм принимаем болты М42 класса точности А и класса прочности 10.9.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1051,23 \cdot 10}{1 \cdot 13,85 \cdot 427 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,97 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1051,23 \cdot 10^3}{42 \cdot 50 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,77 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 болта М42 класса точности А и класса прочности 12.9.

Элемент связи через фланец соединяется с фасонкой, приваренной к трубе фермы, на болтах. Фасонка, с помощью которой происходит соединение элемента связи приведена на рисунке 131. Размеры фасонки приняты конструктивно. Диаметр отверстий под болты М42 класса точности А равен диаметру болта.

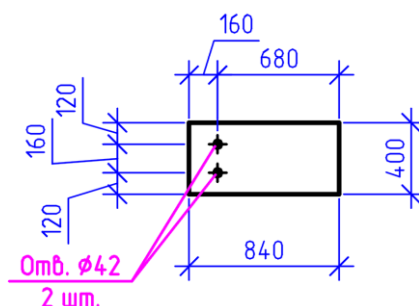


Рисунок 131 – Фасонка, для болтового соединения элемента связей по верхнему поясу ферм

Для крепления связей по нижнему поясу ферм принимаем болты М30 класса точности А и класса прочности 8.8.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{220,38 \cdot 10}{1 \cdot 7,06 \cdot 332 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,04 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{220,38 \cdot 10^3}{30 \cdot 50 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,2 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 болта М30 класса точности А и класса прочности 8.8.

Фасонка, с помощью которой происходит соединение элемента связи приведена на рисунке 132. Размеры фасонки приняты конструктивно. Диаметр отверстий под болты М30 класса точности А равен диаметру болта.

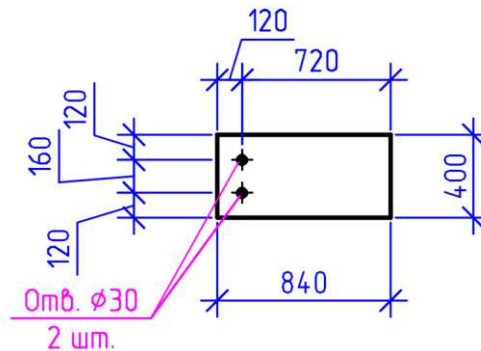


Рисунок 132 – Фасонка, для болтового соединения элемента связей по нижнему поясу ферм

### Расчет болтового соединения крепления решетчатых прогонов в пролете к верхнему поясу фермы

Для решетчатых прогонов к верхнему поясу фермы принимаем болты М36 класса точности А и класса прочности 10.9.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{755,6 \cdot 10}{1 \cdot 10,17 \cdot 416 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,98 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{755,6 \cdot 10^3}{36 \cdot 50 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,65 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 болта М36 класса точности А и класса прочности 12.9.

Элемент решетчатого прогона соединяется с фасонкой, приваренной к трубе фермы, на болтах. Фасонка, с помощью которой происходит соединение элемента связи приведена на рисунке 133. Размеры фасонки приняты конструктивно. Диаметр отверстий под болты М36 класса точности А равен диаметру болта. Так как решетчатые прогоны приходят в ферму по обе стороны, на фасонке будет по два отверстия с каждой стороны соответственно.

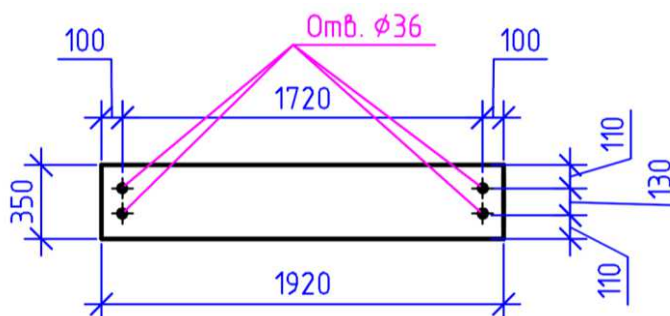


Рисунок 133 – Фасонка, для болтового соединения элемента решетчатого прогона

### 3.6.3 Ручной расчет колонны-связи

Произведем проверку двух элементов поперечной колонны-связи. Фрагмент колонны-связи с отображением изгибающих моментов на расчетной модели приведен на рисунке 134.

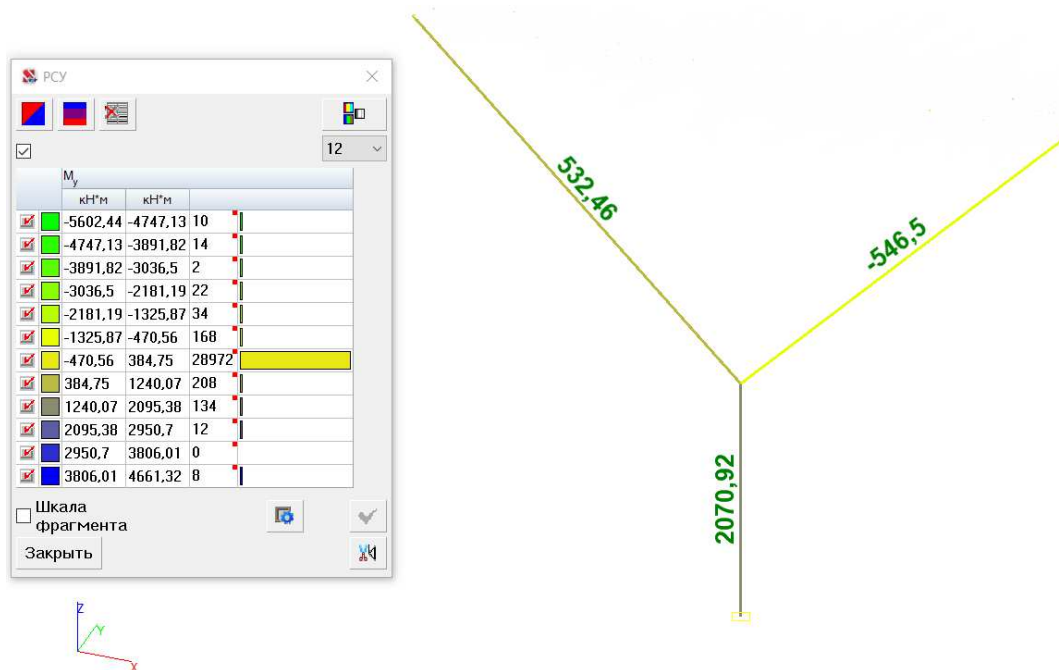


Рисунок 134 – Фрагмент поперечной колонны-связи

## Проверка сжатого опорного элемента поперечной колонны-связи

Произведем проверку сжатого опорного элемента колонны связи.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 8$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c=1$  [20, табл.1];
- $N = -2055,43$  кН;
- $M_x = -1216,55$  кН·м;
- $M_y = 2070,92$  кН·м;
- конструктивная группа – колонны-связи;
- материал – сталь С345;  $R_y=320$  МПа,  $E=2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина элемента верхнего пояса фермы принята в соответствии с [20, табл. 26]:  $l_{ef,x} = l = 8$  м;  $l_{ef,y} = l = 8$  м.

Принимаем сечение  $\circ 1020 \times 15$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 473,595$  см<sup>2</sup>;  $W_x = W_y = 11726,702$  см<sup>3</sup>;  $i_x = i_y = 35,536$  см.

Проверим прочность опорного элемента колонны-связи по формуле (3.3)

$$\left( \frac{2055,43 \cdot 1,1}{473,595 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} \right)^{1,5} + \frac{1216,55 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 11726,702 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} + \frac{2070,92 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 11726,702 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} = 0,82 < 1.$$

Условие прочности удовлетворяется, запас прочности составляет 18%.

Определим гибкость для элемента колонны-связи по формуле (3.9)

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{8 \cdot 10^2}{35,536} = 22,5.$$

Определим условную гибкость по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 22,5 \cdot \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 0,89.$$

Определим эксцентриситет по формуле (3.8)

$$e = \frac{M}{N} = \frac{2070,92 \cdot 10^2}{2055,43} = 101 \text{ см.}$$

Определим относительный эксцентриситет по формуле (3.7)



$$m = \frac{e \cdot A}{W} = \frac{101 \cdot 473,595}{11726,702} = 4,1.$$

Коэффициент  $\eta$  определяем по формуле (3.13)

$$\eta = (1,35 - 0,05 \cdot 4,1) - 0,01(5 - 4,1) \cdot 0,89 = 1,14.$$

Определяем приведенный относительный эксцентриситет по формуле (3.6)

$$m_{ef} = \eta \cdot m = 1,14 \cdot 4,1 = 4,67.$$

Определяем коэффициент  $\varphi_{ey}$  по [20, табл. Д.3].

Принимаем  $\varphi_{ey} = 0,28$ .

Коэффициент  $c$  определяем по формуле (3.14)

Принимаем  $\beta = 1$ ,  $\alpha = 0,88$  и получаем

$$c = \frac{1}{1 + 0,88 \cdot 4,67} = 0,2 < 1.$$

Определим  $\varphi_{exy}$  по формуле (3.5)

$$\varphi_{exy} = \varphi_{ey} \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{c} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{c}) = 0,28 \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{0,2} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{0,2}) = 0,16.$$

Выполним проверку на устойчивость по формуле (3.4)

$$\frac{2055,43}{0,16 \cdot 473,595 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,85 \leq 1.$$

Следовательно, устойчивость опорного элемента колонны-связи при сжатии с изгибом в двух плоскостях обеспечена.

Выполним проверку опорного элемента колонны-связи по предельной гибкости.

Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{2055,43 \cdot 1,1}{0,975 \cdot 473,595 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,15.$$

Определим предельную гибкость стержня по формуле (3.11)

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,15 = 171.$$

$\lambda = 22,5 < 171 = [\lambda]$ , условие выполняется.

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность, устойчивость и гибкость опорного элемента колонны-связи (Рисунок 135). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

Диаграмма факторов [Конструктивная группа колонны-связи поперечные м. д. Элемент № 55] [СП 16.13330.2017 с и... >

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность при действии изгибающего момента $M_y$	п. 8.2.1	0,61		L1+L3+L6+L7
Прочность при действии изгибающего момента $M_z$	п. 8.2.1	0,36		L1+L3+L6+L7
Прочность при действии поперечной силы $Q_y$	п. 8.2.1	0,03		L1+L3+L6+L7
Прочность при действии поперечной силы $Q_z$	п. 8.2.1	0,1		L1+L3+L6+L7
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	п. 9.1.1	0,85		L1+L3+L6+L7
Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,15		L1+L3+L6+L7
Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,15		L1+L3+L6+L7
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	0,85		L1+L3+L6+L7
Предельная гибкость в плоскости XOY	п. 10.4.1	0,15		L1+L6+L7+L8
Предельная гибкость в плоскости XOZ	п. 10.4.1	0,15		L1+L6+L7+L8
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,42		L1+L6+L7+L8

Рисунок 135 – Диаграмма факторов для опорного элемента колонны-связи

### Проверка сжатого элемента поперечной колонны-связи

Произведем проверку сжатого элемента колонны связи.

Исходные данные:

- длина элемента  $l = 14,85$  м;
- коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1$  [20, табл. 1];
- $N = -1751,56$  кН;
- $M_x = 212,08$  кН·м;
- $M_y = -546,5$  кН·м;
- конструктивная группа – колонны-связи;
- материал – сталь С345;  $R_y = 320$  МПа,  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа [20].

Расчетная длина элемента верхнего пояса фермы принята в соответствии с [20, табл. 26]:  $l_{ef,x} = l = 14,85$  м;  $l_{ef,y} = l = 14,85$  м.

Принимаем сечение  $\circ 630 \times 18$  мм с геометрическими характеристиками [10]:  $A = 173,139$  см<sup>2</sup> (условная площадь среза);  $A = 346,078$  см<sup>2</sup>;  $W_x = W_y = 5148,155$  см<sup>3</sup>;  $i_x = i_y = 21,647$  см.

Проверим прочность опорного элемента колонны-связи по формуле (3.3)

$$\left( \frac{1751,56 \cdot 1,1}{173,139 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} \right)^{1,5} + \frac{212,08 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 5148,155 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} + \frac{546,5 \cdot 1,1}{1,26 \cdot 5148,155 \cdot 320 \cdot 10^{-3} \cdot 1} = 0,61 < 1.$$

Условие прочности выполняется.

Определим гибкость для опорного элемента колонны-связи по формуле (3.9)

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{14,85 \cdot 10^2}{21,647} = 68,6.$$

Определим условную гибкость по формуле (3.10)

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 68,6 \cdot \sqrt{\frac{320}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,7.$$

Определим эксцентриситет по формуле (3.8)

$$e = \frac{M}{N} = \frac{546,5 \cdot 10^2}{1751,56} = 31,2 \text{ см.}$$

Определим относительный эксцентриситет по формуле (3.7)

$$m = \frac{e \cdot A}{W} = \frac{31,2 \cdot 173,139}{5148,155} = 1,05.$$

Коэффициент  $\eta$  определяем по формуле (3.13)

$$\eta = (1,35 - 0,05 \cdot 1,05) - 0,01(5 - 1,05) \cdot 2,7 = 1,2.$$

Определяем приведенный относительный эксцентриситет по формуле (3.6)

$$m_{ef} = 1,2 \cdot 1,05 = 1,26.$$

Определяем коэффициент  $\varphi_{ey}$  по [20, табл. Д.3].

Принимаем  $\varphi_{ey} = 0,31$ .

Коэффициент  $\varsigma$  определяем по формуле (3.14)

Принимаем  $\beta = 1$ ,  $\alpha = 0,713$  по [20, табл. 21] и получаем

$$c = \frac{1}{1 + 0,713 \cdot 1,26} = 0,53 < 1.$$

Определим  $\varphi_{exy}$  по формуле (3.5)

$$\varphi_{exy} = 0,31 \cdot (0,6 \cdot \sqrt[3]{0,53} + 0,4 \cdot \sqrt[3]{0,53}) = 0,25.$$

Выполним проверку на устойчивость по формуле (3.3)

$$\frac{1751,56 \cdot 1,1}{0,25 \cdot 346,078 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,7 \leq 1.$$

Следовательно, устойчивость опорного элемента колонны-связи при сжатии с изгибом в двух плоскостях обеспечена.

Выполним проверку элемента колонны-связи по предельной гибкости.

Определим коэффициент  $\alpha$  по формуле (3.12)

$$\alpha = \frac{1751,56 \cdot 1,1}{0,31 \cdot 346,078 \cdot 320 \cdot 10^{-1} \cdot 1} = 0,56.$$

Определим предельную гибкость стержня по формуле (3.11)

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,56 = 146,4.$$

$\lambda = 68,6 < 146,4 = [\lambda]$ , условие выполняется

Определим коэффициент запаса для сравнения с программным счетом

$$\frac{68,4}{146,4} = 0,46;$$

Также с помощью ПК SCAD проверяем прочность, устойчивость и гибкость опорного элемента колонны-связи (Рисунок 136). Результаты программного и ручного расчета сходятся.

Проверка		Коэффициент		Комбинация
Прочность при действии изгибающего момента $M_y$	п. 8.2.1	0,36		L1+L3+L6+L7
Прочность при действии изгибающего момента $M_z$	п. 8.2.1	0,44		L1+L3+L6+L7
Прочность при действии поперечной силы $Q_y$	п. 8.2.1	0,02		L1+L3+L6+L7
Прочность при действии поперечной силы $Q_z$	п. 8.2.1	0,02		L1+L3+L6+L7
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	п. 9.1.1	0,62		L1+L3+L6+L7
Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,23		L1+L3+L6+L7
Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	пп. 7.1.3, 7.2.2	0,23		L1+L3+L6+L7
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	0,72		L1+L3+L6+L7
Предельная гибкость в плоскости XOY	п. 10.4.1	0,46		L1+L6+L7+L9
Предельная гибкость в плоскости XOZ	п. 10.4.1	0,46		L1+L6+L7+L9
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0,21		L1+L6+L7+L9

Отчет ОК

Рисунок 136 – Диаграмма факторов для элемента колонны-связи

### 3.6.4 Расчет и конструирование опорного узла фермы

Опорный узел фермы решается с помощью фасонки, в которую приходит верхний пояс решетчатой стойки, верхний пояс фермы, а также элементы колонны-связи.

Верхний пояс фермы приварен к фланцу, который соединяется с фасонкой на болтах. Фланец фермы в свою очередь опирается на опорный столик. Опорный столик приварен к основной фасонке. Размеры опорного столика и ребер жесткости, приняты конструктивно.

Размеры фасонки приняты конструктивно, исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [20, табл. 40].

Основные усилия в узле передаются через сварной шов крепления верхнего пояса фермы к фланцу и сварной шов крепления опорного столика к фасонке. Опорный узел фермы приведен на рисунке 137.

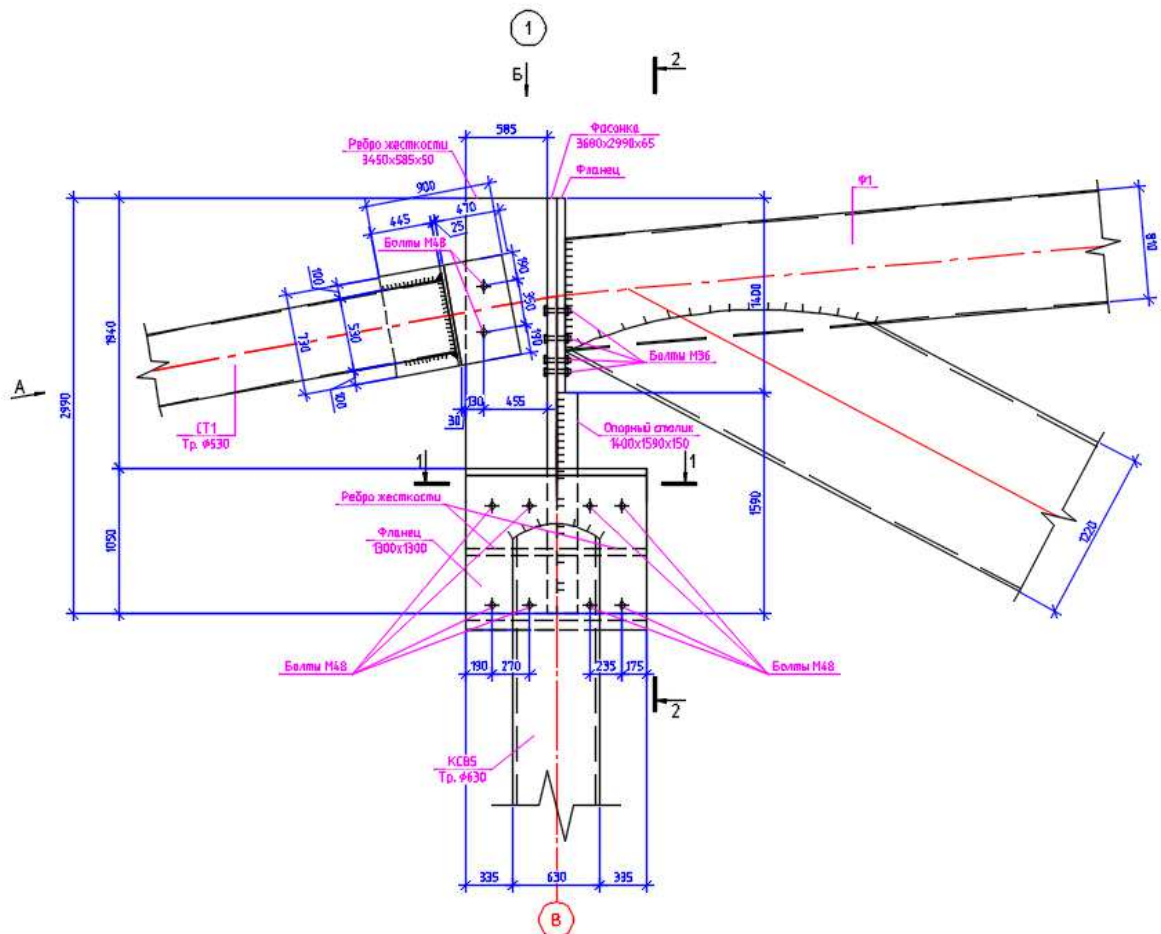


Рисунок 137 – Опорный узел

### Проверка прочности сварного шва крепления верхнего пояса фермы к фланцу

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод – Э50.

Равнодействующая сила (равнодействующая поперечной силы с верхнего пояса фермы и продольной растягивающей силы с нижнего пояса фермы)  $N = 8179,9$  кН.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [20, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 215,6$  МПа

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207$  МПа.

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,7 \cdot 215,6}{1,0 \cdot 207} = 0,73 < 1.$$

Расчет ведем на срез по металлу шва.

Принимаем катет шва по [20, табл. 38]  $k_f = 22$  мм, прочность шва проверяется по формуле (3.23).

Определим длину сварного шва по формуле (3.24)

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01 = 3,14 \cdot 0,820 - 0,01 = 2,56 \text{ м.}$$

Проверим условие прочности по формуле (3.23)

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{8179,9}{0,7 \cdot 0,022 \cdot 2,56 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,96 \leq 1$$

Условие прочности выполняется.

Так как основные усилия передаются через сварные швы, принимаем конструктивно 8 болтов М36 класса точности А и класса прочности 10.9 для соединения опорного фланца фермы с фасонкой.

### **Проверка прочности сварного шва крепления опорного столика к фасонке**

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод – Э50. Равнодействующая сила (равнодействующая поперечной силы с верхнего пояса фермы и продольной растягивающей силы с нижнего пояса фермы)  $N = 8179,9$  кН.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [20, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 215,6$  МПа

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207$  МПа.

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,7 \cdot 215,6}{1,0 \cdot 207} = 0,73 < 1.$$

Расчет ведем на срез по металлу шва.

Принимаем катет шва по [20, табл. 38]  $k_f = 22$  мм, прочность шва проверяется по формуле (3.23). Количество сварных швов  $n = 2$ .

Найдем требуемую длину сварного шва из условия прочности (3.23)

$$l_w = \frac{N}{n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{8179,9}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,022 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 1,23 \text{ м.}$$

Принимаем длину сварного шва  $l_w = 1300$  мм.

$$\frac{N}{n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{8179,9}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,022 \cdot 1,3 \cdot 215,6 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,95 \leq 1$$

Условие прочности выполняется.

### Расчет болтового соединения крепления колонны-связи к опорному листу

Элемент колонны-связи через фланец крепится к опорному листу, приваренному к главной фасонке, на болтах.

Для крепления элемента колонны-связи принимаем болты М48 класса точности А и класса прочности 10.9.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{4899,73 \cdot 10}{1 \cdot 18,09 \cdot 416 \cdot 1 \cdot 0,9} = 7,23 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{4899,73 \cdot 10^3}{48 \cdot 100 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,6 \text{ шт.}$$

Принимаем 8 болтов М48 класса точности А и класса прочности 10.9. Разрез 3-3 узла 1 приведен на рисунке 138.

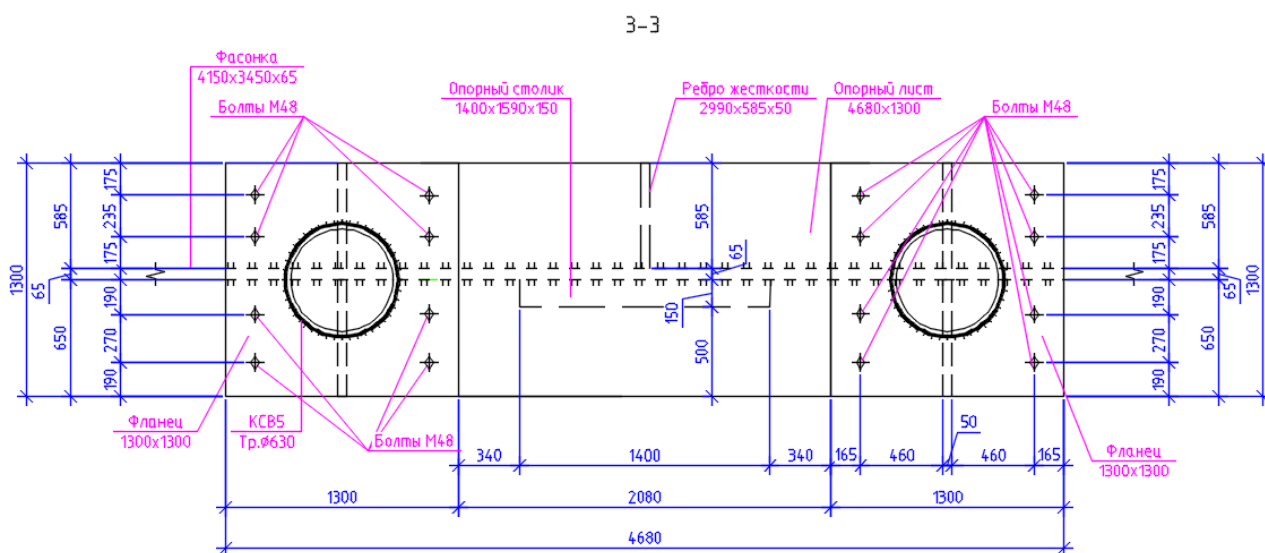


Рисунок 138 – Разрез 3-3 узла 1



## Расчет болтового соединения крепления пояса решетчатой стойки к ребру жесткости

Элемент пояса решетчатой стойки с помощью фасонки крепится к ребру жесткости, приваренному к главной фасонке, на болтах.

Для крепления элемента колонны-связи принимаем болты М48 класса точности А и класса прочности 10.9.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1069,9 \cdot 10}{1 \cdot 18,09 \cdot 416 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,6 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1069,9 \cdot 10^3}{48 \cdot 100 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,34 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 болта М48 класса точности А и класса прочности 10.9. Вид Б (вид сверху) узла 1 приведен на рисунке 139.

Вид Б

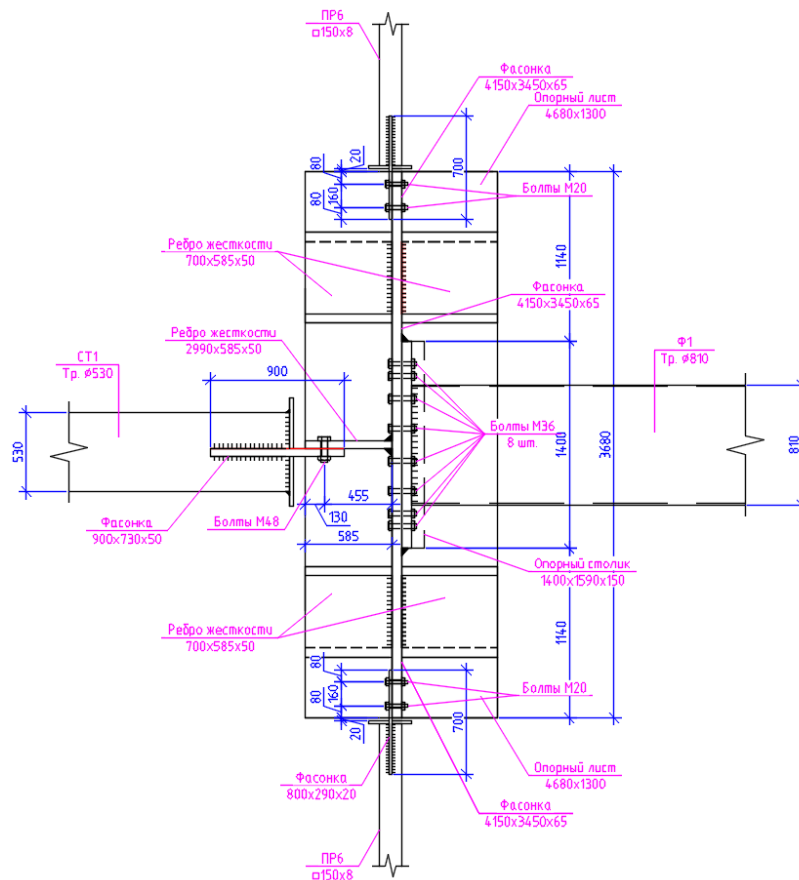


Рисунок 139 – Вид Б узла 1

### **Расчет болтового соединения верхнего пояса решетчатого прогона с фасонкой**

Элемент верхнего пояса решетчатого прогона (фермы) с помощью фасонки крепится к основной фасонке на болтах.

Для крепления элемента верхнего пояса решетчатого прогона (фермы) принимаем болты М20 класса точности А и класса прочности 10.9.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{409,6 \cdot 10}{1 \cdot 3,14 \cdot 416 \cdot 1 \cdot 0,9} = 3,5 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{409,6 \cdot 10^3}{20 \cdot 85 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,37 \text{ шт.}$$

Принимаем 4 болта М20 класса точности А и класса прочности 10.9.

### **Расчет болтового соединения нижнего пояса решетчатого прогона с фасонкой**

Элемент нижнего пояса решетчатого прогона (фермы) с помощью фасонки крепится к основной фасонке на болтах.

Для крепления элемента нижнего пояса решетчатого прогона (фермы) принимаем болты М30 класса точности А и класса прочности 10.9.

Определим количество болтов из условия на срез по формуле (3.25)

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1034,67 \cdot 10}{1 \cdot 7,06 \cdot 416 \cdot 1 \cdot 0,9} = 3,9 \text{ шт.}$$

Определим количество болтов из условия на смятие по формуле (3.26)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1034,67 \cdot 10^3}{30 \cdot 85 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,62 \text{ шт.}$$

Принимаем 4 болта М30 класса точности А и класса прочности 10.9.

Вид А узла 1 приведен на рисунке 140. Крепление решетчатого прогона (фермы) приведено на рисунке 141.

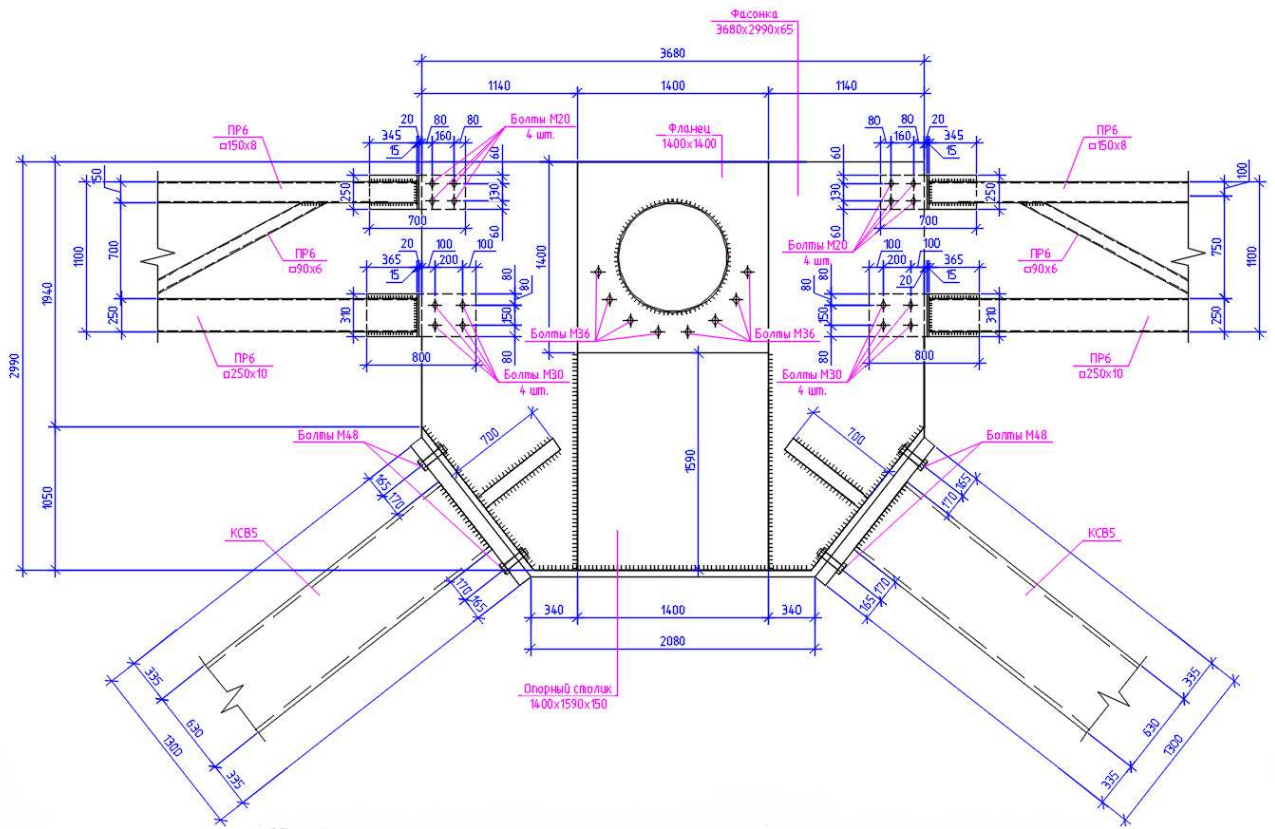


Рисунок 140 – Вид А узла 1

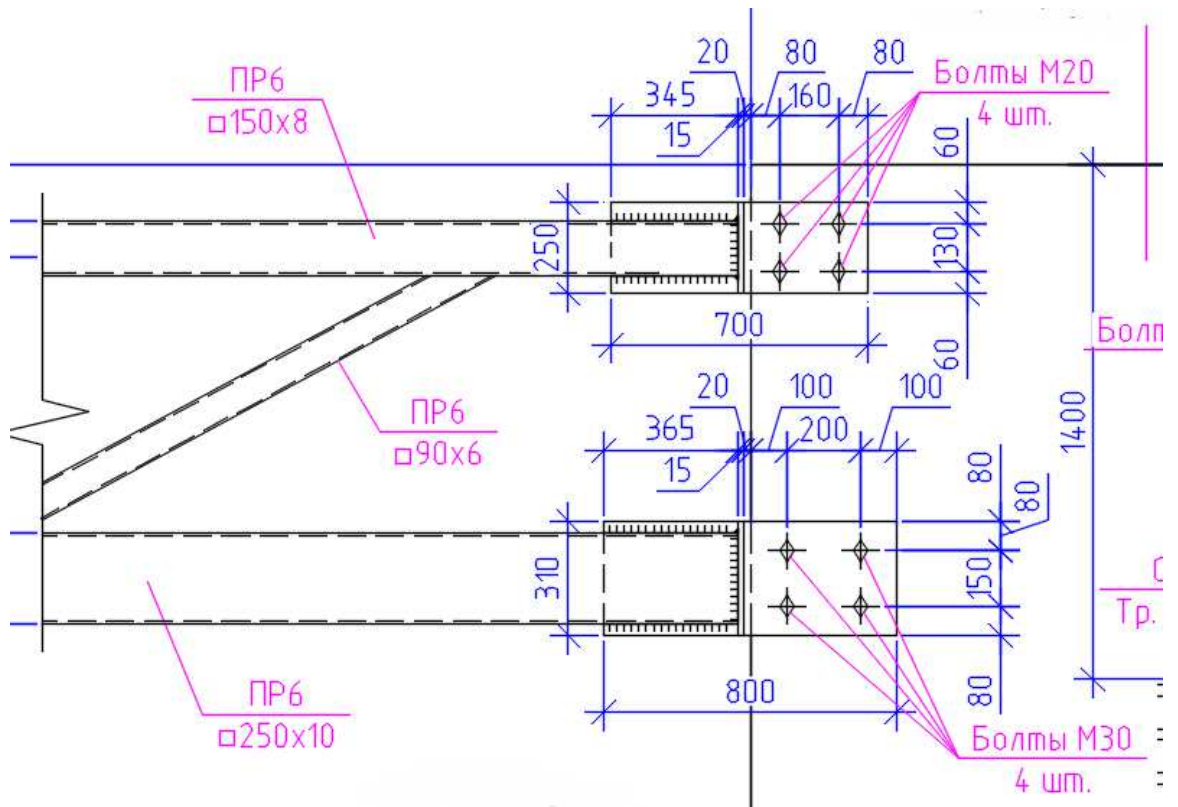


Рисунок 141 – Крепление решетчатого прогона к основной фасонке

### 3.7 Выводы по главе

Каркас большепролетного крытого конькобежного центра был рассчитан на 3 вида особых нагрузок: прогрессирующее обрушение, удар грузового автотранспортного средства и внутренний взрыв.

Самой опасной расчетной ситуацией при расчете на прогрессирующее обрушение является внезапное начальное локальное разрушение элемента нижнего пояса фермы. Вертикальные перемещения, возникающие в элементах каркаса, составляют 618,81 мм, что больше предельно допустимых значений при условиях нормальной эксплуатации (347,33 мм), но меньше предельно допустимых значений при расчете на прогрессирующее обрушение. Предельно допустимые вертикальные перемещения элементов каркаса для особого предельного состояния не должны превышать  $1/50$  длины пролета ( $104200/50=2084$  мм). Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость - 569 шт. (1,92% от общего количества элементов), при этом теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы обрешетки, возможность возникновения прогрессирующего обрушения всего здания незначительна.

Другие расчетные ситуации при расчете на прогрессирующее обрушение показали менее опасный характер, максимальные вертикальные перемещения во всех случаях меньше предельно допустимых значений.

При расчете каркаса на удар грузового автотранспортного средства все элементы каркаса удовлетворяют требованиям прочности, устойчивости и гибкости.

При расчете каркаса на внутренний взрыв несущая решетчатая стойка, попадающая в участок взрыва, осталась в рабочем состоянии, теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы стоек фахверка. Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость - 23 шт. (0,08% от общего количества элементов).

Принятые конструктивные решения, введенные связевые элементы (вертикальные связевые фермы, связи по нижним и верхним поясам ферм, колонны-связи и т.д.) способствуют перераспределению усилий при особых воздействиях и защищают металлический каркас здания от обрушения.

Следовательно, каркас большепролетного здания спортивного центра устойчив к особым видам нагрузок техногенного характера.

В результате были рассчитаны основные несущие элементы каркаса: ферма пролетом 104,2 метра, решетчатая стойка и колонна-связь. Все ручные расчеты сходятся с результатами расчета в ПК SCAD. Также был рассчитан и законструирован узел опирания фермы на решетчатую стойку и колонну-связь, разработаны отправочные элементы фермы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках дипломной работы проведено вариантное проектирование металлического каркаса крытого конькобежного центра, на основании которого выбран вариант каркаса для исследования влияния особых видов нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса. При этом проведен анализ влияния наличия консолей на НДС элементов каркаса.

Были выполнены расчеты в ПК SCAD на 3 вида особых нагрузок: прогрессирующее обрушение, удар грузового автотранспортного средства, внутренний взрыв.

По результатам численных исследований изменения напряженно-деформированного состояния элементов каркаса от особых нагрузок техногенного характера, удалось выявить самую неблагоприятную расчетную ситуацию – начальное локальное разрушение элемента нижнего пояса фермы при расчете каркаса на прогрессирующее обрушение.

В результате дипломной работы разработаны конструктивные решения для металлического каркаса спортивного центра, устойчивые к особым нагрузкам техногенного характера.

Полученные результаты численных исследований влияния особых нагрузок на металлический каркас большепролетного здания могут быть использованы в образовательном процессе по дисциплине «Металлические конструкции высотных и большепролетных зданий и сооружений».

## Список использованных источников

1. СП 332.1325800.2017 Спортивные сооружения. Правила проектирования. – Введ. 15.05.2018. – Москва: Стандартинформ, 2018. 154 с.
2. Агеева, Е. Ю. Большепролетные спортивные сооружения: архитектурные и конструктивные особенности: учебное пособие / Е. Ю. Агеева, М. А. Филиппова; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ), 2014. – 84 с.
3. "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 01.05.2022) // Консультант Плюс. URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
4. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – Введ. 04.06.2017. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 74 с.
5. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Думбай В.А., Данилейко И.Ю. Регулирование напряженно-деформированного состояния структурного покрытия способом изменения геометрической схемы сооружения // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. – 44 с.
6. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 01.07.2013. – Москва: Минрегион России, 2012. – 84 с.
7. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – Введ. 25.06.2021. – Москва: НИИСФ РААСН, ФГБУ «ГГО», 2021. – 153 с.
8. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата помещения. – Введ. 01.01.2013. – Москва: ОАО "СантехНИИпроект", ОАО "ЦНИИПромзданий", 2013. – 11 с.
9. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – Введ. 01.01.1993. - Москва, 1993. – 15 с.
10. ТУ 1381-103-05757848-2013 Трубы стальные электросварные прямошовные наружным диаметром 508-1422 мм для строительных металлических конструкций. – Введ. 18.07.2013. – Москва, 2013. – 24 с.
11. ГОСТ 32931-2015 Трубы стальные профильные для металлоконструкций. – Введ. 01.09.2016. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 81 с.
12. ГОСТ 26020-83 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент. – Введ. 01.01.1986. – Москва, 1986. – 11 с.
13. СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия. – Введ. 04.02.2018. – Москва: ФГБУ «РСТ», 2022. – 30 с.
14. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. – Введ. 06.01.2019. - Москва: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

15. Методическое пособие. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 158 с.
16. Справочник по динамике сооружений. – Москва: Стройиздат, 1972. – 511 с.
17. ГОСТ Р 56288-2014 Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 14 с.
18. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – Введ. 01.01.2014. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 62 с.
19. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 19 с.
20. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81. – Введ. 28.08.2017. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 145 с.
21. ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. – Введ. 01.09.2016. – Москва, 2016. – 11 с.
22. ГОСТ 23118-2019. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия – Введ. 01.01.2021. – Москва: Стандартинформ, 2021. – 39 с.
23. Еремеев П.Г. Справочник по проектированию современных металлических конструкций большепролётных покрытий. Справочное издание. – Москва: Издательство АСВ, 2011. – 256 с.
24. Горев В.В. Металлические конструкции. Элементы конструкций. – Москва: Высшая школа, 2004. – 551 с.
25. Горев В.В. Металлические конструкции. Конструкции зданий. – Москва: Высшая школа, 2004. – 528 с.
26. Горев В.В. Металлические конструкции. Специальные конструкции и сооружения. – Москва: Высшая школа, 2002. – 544 с.
27. Попов Н.Н. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки. – Москва: Высшая школа, 1992. – 319 с.
28. Зверев Д.Н. Большепролетные конструкции покрытий общественных и промышленных зданий. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 1998. – 60 с.
29. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01.87. – Введ. 01.07.2013. – Москва: Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2012. – 198 с.
30. Попов Н.Н. Расторгуев Б.С. Вопросы расчета и конструирования специальных сооружений. – Москва: Стройиздат, 1980. – 190 с.
31. СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования. – Введ. 1.12.2017. – Москва: Минстрой России, 2017 – 166 с.
32. Гордеев В.Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 с.

# Отчет о проверке на заимствования №1



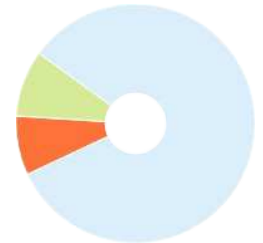
**Автор:** Шаршун Софья Сергеевна  
**Проверяющий:** Шаршун Софья Сергеевна  
**Организация:** Сибирский федеральный университет  
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://sfukras.antiplagiat.ru>

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 199679  
 Начало загрузки: 14.06.2022 17:59:39  
 Длительность загрузки: 00:00:50  
 Имя исходного файла: dr.\_sharshun\_0.pdf  
 Название документа: Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра  
 Размер текста: 1 кБ  
 Тип документа: Выпускная квалификационная работа  
 Символов в тексте: 122332  
 Слов в тексте: 14191  
 Число предложений: 711

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)  
 Начало проверки: 14.06.2022 18:00:29  
 Длительность проверки: 00:00:21  
 Комментарии: не указано  
 Поиск с учетом редактирования: да  
 Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования издательства Wiley (RuEn), eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ, Медицина, Диссертации НББ, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по Интернету, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Модуль поиска "СФУ", Шаблонные фразы, Кольцо вузов, Издательство Wiley, Переводные заимствования



ЗАИМСТВОВАНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
8,09%	0%	8,57%	83,34%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.  
 Самоцитирование — 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.  
 Цитирование — 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; общепотребительные 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, самоцитирование, цитирование 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	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте	Комментарии
[01]	3,9%	3,9%	не указано	13 Янв 2022	Библиография	1	1	
[02]	0,01%	2,41%	СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2) - действующий статус на 2020 год <a href="http://sniprf.ru">http://sniprf.ru</a>	22 Апр 2022	Интернет Плюс	1	45	
[03]	0%	2,41%	СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2) - действующий статус на 2020 год <a href="http://sniprf.ru">http://sniprf.ru</a>	22 Апр 2022	Интернет Плюс	0	45	
[04]	0%	2,41%	СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2) - действующий статус на 2020 год <a href="http://sniprf.ru">http://sniprf.ru</a>	14 Июл 2020	Интернет Плюс	0	45	
[05]	0%	2,41%	СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2) - действующий статус на 2020 год <a href="http://sniprf.ru">http://sniprf.ru</a>	22 Апр 2022	Интернет Плюс	0	45	
[06]	0,24%	1,99%	СНиП 2.01.07-85* Актуализированная редакция СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия / 2 01 07 85* 20 13330 2016 <a href="https://files.stroyinf.ru">https://files.stroyinf.ru</a>	23 Мар 2020	Интернет Плюс	9	42	
			СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия (с					



[07]	0,35%	1,87%	Изменением N 1), СП (Свод правил) от 03 августа 2017 года №296.1325800.2017 <a href="http://docs.cntd.ru">http://docs.cntd.ru</a>	02 Июн 2022	Интернет Плюс	11	32
[08]	0,03%	1,68%	4.73 МБ <a href="https://dwg.ru">https://dwg.ru</a>	09 Сен 2019	Интернет Плюс	1	37
[09]	0%	1,54%	134_201_166_0_0.600_88367558 СНиП 2.01.07-85* <a href="http://pda.www.minregion.ru">http://pda.www.minregion.ru</a>	30 Окт 2021	Интернет Плюс	0	33
[10]	0,15%	1,54%	СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2) - действующий статус на 2020 год <a href="http://sniprf.ru">http://sniprf.ru</a>	31 Окт 2020	Интернет Плюс	7	17
[11]	1,39%	1,53%	Свод правил СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия". Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 3 декабря 2016 г. N 891/пр) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	21 Июн 2019	СПС ГАРАНТ	19	21
[12]	0%	1,51%	95_67_161_0_0.600_74243849 СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*, СП (Свод правил) от 27 декабря 2010 года №20.13330.2011, СНиП от 27 декабря *2010 года №2.01.07-85, Приказ Минрегиона России от 27 декабря 2... <a href="http://docs.cntd.ru">http://docs.cntd.ru</a>	12 Окт 2021	Интернет Плюс	0	32
[13]	0%	1,51%	Документация о закупке с изм. (26 МБ) <a href="https://niitn.transneft.ru">https://niitn.transneft.ru</a>	30 Окт 2021	Интернет Плюс	0	32
[14]	0%	1,49%	СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85 <a href="http://novsu.ru">http://novsu.ru</a>	22 Ноя 2016	Интернет Плюс	0	32
[15]	0%	1,48%	О техническом регулировании <a href="http://samzan.ru">http://samzan.ru</a>	07 Янв 2017	Интернет Плюс	0	31
[16]	0,59%	1,43%	274332 <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>	20 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	7	14
[17]	0%	1,43%	СНиП 2.01.07-85* Актуализированная редакция СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия <a href="http://meganorm.ru">http://meganorm.ru</a>	30 Ноя 2016	Интернет Плюс	0	30
[18]	0%	1,43%	СНиП 2.01.07-85* Актуализированная редакция СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия <a href="https://files.stroyinf.ru">https://files.stroyinf.ru</a>	29 Апр 2022	Интернет Плюс	0	30
[19]	0%	1,36%	СП 20.13330.2016 — «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2, 3) от 03 декабря 2016 <a href="https://teoc.ru">https://teoc.ru</a>	06 Мая 2022	Интернет Плюс	0	16
[20]	1,33%	1,33%	Свод правил СП 296.1325800.2017 "Здания и сооружения. Особые воздействия" (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 3 августа 2017 г. N 1105/пр) (с изменениями и дополнениями) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	21 Июн 2019	СПС ГАРАНТ	19	19
[21]	0,07%	1,27%	<a href="http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/135714/romanenko_dp.pdf">http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/135714/romanenko_dp.pdf</a> <a href="http://elib.sfu-kras.ru">http://elib.sfu-kras.ru</a>	10 Июн 2022	Интернет Плюс	1	17
[22]	0,02%	1,24%	СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия / 296 1325800 2017 <a href="https://files.stroyinf.ru">https://files.stroyinf.ru</a>	14 Июн 2022	Интернет Плюс	2	14
[23]	0,1%	1,23%	<a href="https://core.ac.uk/download/pdf/84935539.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/84935539.pdf</a> <a href="https://core.ac.uk">https://core.ac.uk</a>	21 Июн 2020	Интернет Плюс	5	24
[24]	0%	1,21%	СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия (с Изменением N 1), СП (Свод правил) от 03 августа 2017 года №296.1325800.2017 <a href="http://docs.cntd.ru">http://docs.cntd.ru</a>	23 Июн 2021	Интернет Плюс	0	15
[25]	0,21%	1,15%	Свод правил СП 20.13330.2011 "СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия". Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (утв. приказом Министерства регионального	28 Фев 2018	СПС ГАРАНТ	3	19

[26]	0,09%	1,12%	!ПЗ_Кривошеин (1).docx	25 Дек 2021	Кольцо вузов	2	6
[27]	0,55%	1,1%	ВКР 1.docx — копия.pdf	17 Июн 2021	Модуль поиска "СФУ"	4	5
[28]	0,36%	1,07%	<a href="http://www.know-house.ru/gost/sp_2013/sp_16.13330.2011.pdf">http://www.know-house.ru/gost/sp_2013/sp_16.13330.2011.pdf</a> <a href="http://know-house.ru">http://know-house.ru</a>	05 Фев 2021	Интернет Плюс	16	30
[29]	0,08%	1,06%	Проектируем здания <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	1	8
[30]	0%	1,06%	Проектируем здания <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	8
[31]	0,18%	1,04%	СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81 (с Изменением..._Текст	20 Фев 2017	Кольцо вузов	2	7
[32]	0,01%	0,93%	Тарасова Аннагуль Аширмамедовна	30 Июн 2016	Кольцо вузов	1	6
[33]	0,86%	0,89%	не указано	13 Янв 2022	Шаблонные фразы	18	19
[34]	0,11%	0,89%	<a href="http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/69391/kozlenko_andrey_sergeevich_tekst.pdf">http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/69391/kozlenko_andrey_sergeevich_tekst.pdf</a> <a href="http://elib.sfu-kras.ru">http://elib.sfu-kras.ru</a>	13 Мар 2022	Интернет Плюс	2	13
[35]	0%	0,88%	СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2), СП (Свод правил) от 03 декабря 2016 года №20.13330.2016 <a href="http://docs.cntd.ru">http://docs.cntd.ru</a>	02 Июн 2022	Интернет Плюс	0	14
[36]	0,03%	0,88%	Щербаков И.А..docx	25 Дек 2021	Кольцо вузов	3	5
[37]	0,26%	0,88%	СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с Изменением N 1), СП (Свод правил) от 05 июля 2018 года №385.1325800.2018 <a href="http://docs.cntd.ru">http://docs.cntd.ru</a>	05 Мая 2022	Интернет Плюс	8	13
[38]	0,07%	0,82%	Здание понизительной подстанции в г.Нижнекамск общей площадью 1300кв.м	31 Мая 2021	Кольцо вузов	1	6
[39]	0%	0,79%	-- Антиплагиат --.docx	23 Июн 2021	Кольцо вузов	0	5
[40]	0,1%	0,79%	РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ - PDF <a href="https://docplayer.ru">https://docplayer.ru</a>	21 Июн 2019	Интернет Плюс	3	16
[41]	0,44%	0,78%	Расчетно-конструктивное решение строительства гостиницы. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	19 Мар 2020	eLIBRARY.RU	5	3
[42]	0%	0,78%	Расчетно-конструктивное решение строительства гостиницы с рамно-металлическим каркасом. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	19 Мар 2020	eLIBRARY.RU	0	3
[43]	0,05%	0,73%	<a href="http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/144659/37_fronkina_pz.pdf">http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/144659/37_fronkina_pz.pdf</a> <a href="http://elib.sfu-kras.ru">http://elib.sfu-kras.ru</a>	21 Дек 2021	Интернет Плюс	2	7
[44]	0%	0,73%	ВКР Яхлаков А.В - на антиплагиат	15 Июн 2021	Кольцо вузов	0	4
[45]	0%	0,73%	273849 <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>	20 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	4
[46]	0,7%	0,7%	Просмотр (1/2) <a href="http://globalteka.ru">http://globalteka.ru</a>	05 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	1
[47]	0%	0,67%	Реализация расчета монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса "SCAD Office". <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	11 Мая 2018	Перефразирования по eLIBRARY.RU	0	1
[48]	0%	0,65%	Расчет и конструирование многоэтажных и высотных монолитных железобетонных зданий. Спецкурс. Конспект лекций <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	5
[49]	0%	0,65%	Расчет и конструирование многоэтажных и высотных монолитных железобетонных зданий. Спецкурс. Конспект лекций <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	5

[50]	0%	0,65%	Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	4
[51]	0%	0,64%	Расчетно-конструктивное решение строительства гостиницы. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	19 Мар 2020	Перефразирования по eLIBRARY.RU	0	2
[52]	0%	0,64%	КрасниковаДВ_МТПЗ-19	01 Июл 2021	Кольцо вузов	0	4
[53]	0,31%	0,63%	Диплом (1).docx	21 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	2	3
[54]	0%	0,63%	Диплом Конечная Версия.docx	19 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	3
[55]	0,15%	0,62%	ВКР Руненков Д.Е.- 2	19 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	1	4
[56]	0%	0,62%	<a href="https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp22_2020.pdf">https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp22_2020.pdf</a> <a href="https://faufcc.ru">https://faufcc.ru</a>	24 Мая 2022	Интернет Плюс	0	7
[57]	0,08%	0,57%	Стандарт Организации ФГУП «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» СТО 36554501-015-2008 «Нагрузки и воздействия». <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	09 Дек 2016	eLIBRARY.RU	4	3
[58]	0%	0,57%	ВКР Остапенко Тимченко	25 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	3
[59]	0,29%	0,55%	Жилые и общественные здания: краткий справочник инженера-конструктора. Том II. <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	2	3
[60]	0,02%	0,52%	ВЛИЯНИЕ ПРЕГРАД НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФРОНТА УДАРНОЙ ВОЛНЫ ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	20 Мар 2019	Перефразирования по eLIBRARY.RU	2	2
[61]	0%	0,51%	<a href="http://energo-obeng.ru/files/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B8%2024%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0...">http://energo-obeng.ru/files/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B8%2024%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0...</a> <a href="http://energo-obeng.ru">http://energo-obeng.ru</a>	14 Июн 2022	Интернет Плюс	0	8
[62]	0%	0,5%	СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения / 385 1325800 2018 <a href="https://files.stroyinf.ru">https://files.stroyinf.ru</a>	02 Июн 2022	Интернет Плюс	0	3
[63]	0,02%	0,5%	ВЛИЯНИЕ ПРЕГРАД НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФРОНТА УДАРНОЙ ВОЛНЫ ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	20 Мар 2019	eLIBRARY.RU	3	2
[64]	0,08%	0,49%	Промышленное и гражданское строительство в задачах с решениями <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	20 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	1	3
[65]	0,03%	0,48%	СТО 36554501-015-2008 «Нагрузки и воздействия» <a href="http://meganorm.ru">http://meganorm.ru</a>	30 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	2	1
[66]	0%	0,47%	ВКР СДК3.docx	28 Июл 2020	Модуль поиска "СФУ"	0	3
[67]	0%	0,47%	271604 <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>	20 Апр 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	3
[68]	0%	0,47%	ВКР.pdf	11 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	3
[69]	0,46%	0,46%	Вертяков, Федор Николаевич диссертация ... доктора технических наук : 05.18.12, 05.18.01 Воронеж 2009 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	14 Июн 2011	Сводная коллекция РГБ	4	4
[70]	0,27%	0,46%	АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	24 Янв 2020	Перефразирования по eLIBRARY.RU	2	2
[71]	0%	0,45%	<a href="https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/19932/1/%D0%97%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20%D0%90.%D0%90_%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%B1-1703%D0%B0.pdf">https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/19932/1/%D0%97%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20%D0%90.%D0%90_%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%B1-1703%D0%B0.pdf</a> <a href="https://dspace.tltsu.ru">https://dspace.tltsu.ru</a>	29 Мая 2022	Интернет Плюс	0	5
			Миллер, Юлия Владимировна Исследование теплотребления здания в суточном и годовом циклах				

[72]	0%	0,45%	методом математического моделирования : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.03 Москва 2015 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	22 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	0	4
[73]	0%	0,43%	Эксплуатационная надежность металлических конструкций и сооружений производственных зданий в экстремальных условиях Севера <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	3
[74]	0,23%	0,42%	Свод правил СП 385.1325800.2018 "Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения" (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 5 июля 2018 г. N 393/пр) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	21 Июн 2019	СПС ГАРАНТ	5	7
[75]	0,05%	0,41%	<a href="https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp13_2019.pdf">https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp13_2019.pdf</a> <a href="https://faufcc.ru">https://faufcc.ru</a>	14 Июн 2021	Интернет Плюс	2	7
[76]	0%	0,4%	Руководство по проектированию и расчету строительных конструкций. В помощь проектировщику <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	4
[77]	0%	0,4%	МАГ_Соловьёв Е.С._М.СТ.ПГСП-19.02_05.07.2021	30 Июн 2021	Кольцо вузов	0	4
[78]	0%	0,4%	СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с Изменением N 1), СП (Свод правил) от 05 июля 2018 года №385.1325800.2018 <a href="http://docs.cntd.ru">http://docs.cntd.ru</a>	16 Янв 2021	Интернет Плюс	0	2
[79]	0,07%	0,4%	<a href="http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/69420/ivanov_andrey_aleksandrovich_tekst.pdf">http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/69420/ivanov_andrey_aleksandrovich_tekst.pdf</a> <a href="http://elib.sfu-kras.ru">http://elib.sfu-kras.ru</a>	11 Июн 2022	Интернет Плюс	1	6
[80]	0%	0,38%	ВКР нормоконтроль (2).pdf	11 Июн 2021	Модуль поиска "СФУ"	0	2
[81]	0%	0,37%	Рис. 1. Меню Отмена операции - PDF Free Download <a href="https://docplayer.ru">https://docplayer.ru</a>	02 Июн 2022	Интернет Плюс	0	6
[82]	0%	0,36%	Реализация расчета монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса "SCAD Office". <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	11 Мая 2018	eLIBRARY.RU	0	2
[83]	0%	0,36%	Дипломная работа на тему «Многоквартирный жилой дом переменной этажности в г. Череповец по ул. Любецкой»   Дипломные работы «Строительство» <a href="https://bank.nauchniestati.ru">https://bank.nauchniestati.ru</a>	09 Фев 2022	Интернет Плюс	0	5
[84]	0%	0,34%	Poyasnitelnaya_zapiska_novaya.docx	26 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	2
[85]	0,34%	0,34%	ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПОКРЫТИЯ, СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ И ФАСАДОВ ЛЕДОВЫХ ДВОРЦОВ СПОРТА. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	31 Авг 2017	eLIBRARY.RU	2	2
[86]	0%	0,33%	Прашанта Кумар Саха диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.01 Москва 1993 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	2
[87]	0,27%	0,33%	Свод правил СП 128.13330.2012 "СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции". Актуализированная редакция СНиП 2.03.06-85 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г. N 619) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	28 Фев 2018	СПС ГАРАНТ	6	7
[88]	0%	0,32%	Будников, Павел Михайлович Обоснование параметров и совершенствование технологии крепления устьев наклонных стволов металлической арочной крепью с монолитным бетоном : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.22 Кемерово 2019 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	15 Окт 2019	Сводная коллекция РГБ	0	2
			ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ АНТЕННО-				

[89]	0,01%	0,32%	МАЧТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	08 Окт 2018	eLIBRARY.RU	1	4
[90]	0%	0,31%	<a href="http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/26487/lep_iilin.pdf">http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/26487/lep_iilin.pdf</a> <a href="http://elib.sfu-kras.ru">http://elib.sfu-kras.ru</a>	04 Июн 2022	Интернет Плюс	0	4
[91]	0%	0,31%	Проектирование фундаментов зданий и сооружений. Часть I. Сбор нагрузок <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	3
[92]	0%	0,31%	Стандарт Организации ФГУП «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» СТО 36554501-015-2008 «Нагрузки и воздействия». <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	09 Дек 2016	Перефразирования по eLIBRARY.RU	0	1
[93]	0%	0,31%	ВКР Бабурченков 222	25 Фев 2022	Кольцо вузов	0	2
[94]	0%	0,3%	Проектирование фундаментов зданий и сооружений. Часть I. Сбор нагрузок. Учебное пособие <a href="http://bibliorossica.com">http://bibliorossica.com</a>	раньше 2011	Сводная коллекция ЭБС	0	4
[95]	0%	0,3%	rsl01007899386.txt <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Фев 2018	Сводная коллекция РГБ	0	4
[96]	0%	0,3%	Оригинал готов.docx	15 Июн 2019	Модуль поиска "СФУ"	0	2
[97]	0%	0,3%	Изменение N 1 к СП 20.13330.2016 "СНИП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия" (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 5 июля 2018 г. N 402/пр) (не вступило в силу) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	21 Фев 2019	СПС ГАРАНТ	0	5
[98]	0,2%	0,29%	Особенности определения ветровой нагрузки на стальной каркас однопролетного здания. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	27 Мар 2020	eLIBRARY.RU	3	1
[99]	0%	0,29%	А.К. Фролов [и др.] Проектирование железобетонных, каменных и армокаменных конструкций: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 653500 "Стр-во" М. 2004 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Янв 2004	Сводная коллекция РГБ	0	2
[100]	0,28%	0,28%	Свод правил СП 50.13330.2012 "СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий". Актуализированная редакция СНИП 23-02-2003 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 265) (с изменениями и дополнениями) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	04 Мар 2019	СПС ГАРАНТ	5	5
[101]	0%	0,28%	Техническая механика <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	2
[102]	0%	0,28%	Техническая механика <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	2
[103]	0%	0,27%	В. И. Сетков, Е. П. Сербин Строительные конструкции расчет и проектирование : учебник для студентов средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности 270103 "Строительство и эксплуатация зданий и сооружений" Москва 2011 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	15 Мая 2014	Сводная коллекция РГБ	0	2
[104]	0%	0,26%	Оценка устойчивости к прогрессирующему обрушению каркаса конвертерного цеха. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	20 Мар 2019	eLIBRARY.RU	0	3
[105]	0%	0,26%	<a href="http://helpeng.ru/template/library/sp/sp_53-102-2004.pdf">http://helpeng.ru/template/library/sp/sp_53-102-2004.pdf</a> <a href="http://helpeng.ru">http://helpeng.ru</a>	28 Апр 2022	Интернет Плюс	0	3
[106]	0%	0,25%	Промышленное и гражданское строительство в задачах с решениями <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	1
[107]	0,25%	0,25%	не указано <a href="http://mylektsii.ru">http://mylektsii.ru</a>	05 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	1
[108]	0,01%	0,24%	Нужна ли повышенная остекленность фасадов? <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	24 Дек 2016	eLIBRARY.RU	1	2
[109]	0%	0,24%	<a href="https://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/berger-mariya-petrovna/Dissertacia_BergerMP.pdf">https://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/berger-mariya-petrovna/Dissertacia_BergerMP.pdf</a> <a href="https://mgsu.ru">https://mgsu.ru</a>	24 Мая 2022	Интернет Плюс	0	3

Кучеренко, Мария Николаевна

[110]	0,06%	0,24%	Совершенствование аэродинамических и теплофизических показателей систем обеспечения параметров микроклимата : диссертация ... доктора технических наук : 05.23.03 Тольятти 2018 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	15 Окт 2019	Сводная коллекция РГБ	1	1
[111]	0,24%	0,24%	Горшков, Александр Сергеевич Разработка научных и методологических принципов повышения эффективности использования энергетических ресурсов на предприятиях текстильной и легкой промышленности и снижения энергоемкости выпускаемой продукции : диссертация .... <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	27 Дек 2019	Сводная коллекция РГБ	2	2
[112]	0%	0,23%	Методические указания к выполнению магистерской диссертации: курсовые работы и проекты по направлению подготовки, научно-исследовательская работа, подготовка, оформление и защита выпускной квалификационной работы <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>	21 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	2
[113]	0%	0,23%	Ворошилов, Ярослав Сергеевич Научное обоснование и разработка технических решений для контроля пылевой обстановки горных выработок угольных шахт с учетом человеческого фактора : диссертация ... доктора технических наук : 05.26.01 Кемерово 2020 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	16 Июн 2021	Сводная коллекция РГБ	0	2
[114]	0%	0,21%	Бадертдинов, Ильнар Рамисович Трехгранные решетчатые конструкции : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.01 Ростов-на-Дону 2020 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	16 Июн 2021	Сводная коллекция РГБ	0	2
[115]	0,04%	0,21%	Стартовал подготовительный этап Российской национальной премии «Студент года» <a href="http://gazetazm.ru">http://gazetazm.ru</a>	21 Мая 2020	СМИ России и СНГ	1	2
[116]	0%	0,21%	<a href="https://lasar.ru/upload/iblock/c50/c50f5ab8136914b3c3cb4f9f4b8bf7f5.pdf">https://lasar.ru/upload/iblock/c50/c50f5ab8136914b3c3cb4f9f4b8bf7f5.pdf</a> <a href="https://lasar.ru">https://lasar.ru</a>	01 Фев 2022	Интернет Плюс	0	2
[117]	0%	0,21%	Свод правил СП 402.1325800.2018 "Здания жилые. Правила проектирования систем газопотребления" (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 5 декабря 2018 г. N 789/пр) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	21 Июн 2019	СПС ГАРАНТ	0	2
[118]	0%	0,2%	Металлические конструкции, включая сварку <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	3
[119]	0,01%	0,19%	[Л. Р. Маилян и др.]; под ред. Л. Р. Маиляна Конструкции зданий и сооружений с элементами статики учебник для студентов средних специальных заведений, обучающихся по специальности 270301 "Архитектура" Москва 2009 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Дек 2014	Сводная коллекция РГБ	1	2
[120]	0%	0,19%	Душкевич, Константин Никитич Развитие творческого наследия В.Г. Шухова в архитектуре современных общественных зданий и сооружений : диссертация ... кандидата архитектуры : 05.23.21 Москва 2019 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	15 Окт 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1
[121]	0,19%	0,19%	Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	раньше 2011	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	1
[122]	0%	0,18%	Напряженно-деформированное состояние узла из полого шара новой металлической структурной конструкции <a href="http://dep.nlb.by">http://dep.nlb.by</a>	11 Ноя 2016	Диссертации НББ	0	2
			Свод правил по проектированию и строительству СП 53-102-2004 "Общие правила проектирования стальных				

[123]	0,04%	0,18%	конструкций" (одобрен письмом Госстроя РФ от 20 апреля 2004 г. N ЛБ-2596/9) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	14 Янв 2017	СПС ГАРАНТ	2	6	
[124]	0%	0,17%	Об утверждении Технического регламента Республики Казахстан "Требования к безопасности металлических конструкций" - ИПС "Әділет" (2/2) <a href="http://adilet.zan.kz">http://adilet.zan.kz</a>	21 Янв 2016	ИПС Адилет	0	1	
[125]	0%	0,17%	Об утверждении Технического регламента "Требования к безопасности конструкций из других материалов" - ИПС "Әділет" (2/2) <a href="http://adilet.zan.kz">http://adilet.zan.kz</a>	21 Янв 2016	ИПС Адилет	0	1	
[126]	0%	0,17%	Архитектура промышленных зданий <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	1	
[127]	0,17%	0,17%	В качестве типовых предлагаются фермы с параллельными поясами и треугольной решеткой с дополнительными ст <a href="http://samzan.ru">http://samzan.ru</a>	30 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	1	
[128]	0%	0,16%	[Айзенберг Я. М. и др.] Строительство высотных зданий и сооружений <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	16 Июнь 2021	Сводная коллекция РГБ	0	1	
[129]	0,01%	0,15%	Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований. <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	26 Янв 2019	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	1	
[130]	0%	0,14%	Окаб Абдулла Казаал Совершенствование купольной крыши резервуаров для нефти и нефтепродуктов : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.19 Уфа 2015 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	22 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	0	2	
[131]	0,14%	0,14%	<a href="http://www.nngasu.ru/student/unirs/sbornik_16.pdf">http://www.nngasu.ru/student/unirs/sbornik_16.pdf</a> <a href="http://nngasu.ru">http://nngasu.ru</a>	01 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	1	
[132]	0%	0,14%	Чжоу Чжибо Раскрытие принципиальных особенностей нормирования тепловой защиты зданий в России и Китае и её влияние на оценку энергосбережения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.03 Москва 2019 <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	15 Окт 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	
[133]	0%	0,13%	Противопожарная защита зданий. Конструктивные и планировочные решения <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	1	
[134]	0%	0,13%	Проектирование несущих конструкций многоэтажного каркасного здания <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	2	
[135]	0%	0,13%	Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Том 1. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО <a href="http://studentlibrary.ru">http://studentlibrary.ru</a>	19 Дек 2016	Медицина	0	1	
[136]	0,07%	0,12%	Строительные нормы и правила СНиП 2.05.03-84* "Мосты и трубы" (утв. постановлением Госстроя СССР от 30 ноября 1984 г. N 200) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	18 Апр 2017	СПС ГАРАНТ	1	2	
[137]	0%	0,12%	Пособие к СНиП II-23-81 Пособие по проектированию стальных конструкций <a href="https://znaytovar.ru">https://znaytovar.ru</a>	14 Июнь 2022	Интернет Плюс	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[138]	0%	0,12%	Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь <a href="http://dep.nlb.by">http://dep.nlb.by</a>	04 Июл 2017	Диссертации НББ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[139]	0%	0,12%	Надежность строительных конструкций и оснований	04 Янв 2019	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[140]	0%	0,12%	Цой, Анастасия Андреевна Методика определения эффективности огнезащитных покрытий для стальных конструкций в условиях факельного углеводородного горения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.03 Санкт-Петербург 2017	19 Фев 2018	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

<http://dlib.rsl.ru>

[141]	0%	0,12%	« <a href="http://vermamon.ru">http://vermamon.ru</a>	26 Дек 2018	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[142]	0%	0,1%	Методики и алгоритмическое обеспечение прогнозирования зон поражения при чрезвычайных ситуациях на химически опасных объектах <a href="http://dep.nlb.by">http://dep.nlb.by</a>	06 Дек 2018	Диссертации НББ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[143]	0%	0,1%	Параметры конструкционной надежности для проверок изгибаемых стальных элементов по предельным состояниям несущей способности <a href="http://dep.nlb.by">http://dep.nlb.by</a>	11 Ноя 2016	Диссертации НББ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[144]	0%	0,09%	Вступление в силу свода правил по проектированию новостроек с бытовым газом. <a href="https://advis.ru">https://advis.ru</a>	17 Авг 2019	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[145]	0%	0,08%	Каменное заполнение каркасных зданий: прочность, жесткость и силовое взаимодействие с каркасом <a href="http://dep.nlb.by">http://dep.nlb.by</a>	04 Июл 2017	Диссертации НББ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[146]	0%	0,08%	В. В. Леденев, А. В. Худяков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет" Оболочечные конструкции в стр... <a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Фев 2018	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[147]	0%	0,07%	Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 7 октября 2015 г. N 400 "Об утверждении Перечня вопросов, предлагаемых на квалификационном экзамене по аттестации экспертов в области промышленной безопасности" <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	28 Фев 2018	СПС ГАРАНТ	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[148]	0%	0,06%	[Постановление Администрации г. Таганрога 06.12.2017N2169...]	18 Дек 2018	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[149]	0%	0,05%	Межгосударственный стандарт ГОСТ 31174-2017 "Ворота металлические. Общие технические условия" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2017 г. N 1405-ст) <a href="http://ivo.garant.ru">http://ivo.garant.ru</a>	10 Апр 2019	СПС ГАРАНТ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.



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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные конструкции и управляемые системы  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

  
подпись  
«16»

С.В. Деордиев  
инициалы, фамилия  
ИЮНЯ 2022 г.

## ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

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


Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере  
крытого конькобежного центра  
тема

Руководитель

  
подпись, дата 09 06 2022  
доцент, к.т.н.  
должность, ученая степень

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата 09 06 2022

С.С. Шаршун  
инициалы, фамилия

Красноярск 2022



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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные конструкции и управляемые системы  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
С.В. Деордиев  
инициалы, фамилия  
подпись  
«25» 12 2021 г.

### ПЛАН РАБОТЫ

Студентке Шаршун Софье Сергеевне. Группа СС16-11. Направление (профиль)  
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Тема выпускной квалификационной работы: Влияние особых нагрузок  
техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного  
центра.

Утверждена приказом по университету № 3632/с от 05.03.2022.

Руководитель ВКР: А.В. Фроловская, доцент, канд.тех. наук, СКиУС  
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

ИСИ СФУ.

Наименование раздела	Срок выполнения
Введение. Обзор существующих конструктивных решений спортивных центров. Анализ нормативно-технической документации и методик расчета стального каркаса большепролетных сооружений	25.12.2021
Вариантное проектирование конструктивного решения каркаса крытого конькобежного центра	17.01.2022
Расчет каркаса с консолями на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета	01.02.2022
Расчет каркаса без консолей на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета	14.02.2022
Сопоставление результатов расчета каркаса в двух вариантах. Анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса	07.03.2022
Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас. Расчет каркаса на особые виды на грузок. Анализ влияния особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса	11.04.2022

Разработка конструктивных решений для выбранного каркаса	09.05.2022
Основные выводы по работе	09.06.2022

Руководитель ВКР

  
подпись

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

  
подпись

С.С. Шаршун  
инициалы, фамилия

« 25 » декабря 2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
Глава 1 Требования и конструктивные решения при проектировании большепролетных спортивных центров .....	10
1.1 Обзор существующих конструктивных решений спортивных центров ...	10
1.2 Анализ нормативно-технической документации и методик расчета стального каркаса большепролетных сооружений.....	13
1.3 Выводы по главе .....	14
Глава 2 Численные исследования несущих элементов каркаса крытого конькобежного центра с консолями и без на основные виды нагрузок.....	15
2.1 Вариантное проектирование конструктивного решения каркаса крытого конькобежного центра .....	15
2.1.1 Описание вариантов каркаса с консолями и без. Компоновка каркаса в двух вариантах.....	15
2.1.2 Сбор нагрузок на каркас в двух вариантах с консолями и без.....	20
2.1.3 Приложение нагрузок.....	34
2.2 Расчет каркаса с консолями на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета.....	44
2.2.1 Задание комбинаций нагрузок и РСУ.....	44
2.2.2 Подбор сечений .....	45
2.2.3 Анализ напряженно-деформированного состояния каркаса.....	48
2.3 Расчет каркаса без консолей на основные виды нагрузок. Анализ результатов расчета.....	50
2.3.1 Задание комбинаций нагрузок и РСУ.....	50
2.3.2 Проверка подобранных сечений .....	50
2.3.3 Анализ напряженно-деформированного состояния каркаса.....	51
2.4 Расчет двух вариантов каркаса на основные нагрузки без учета снеговых и ветровых нагрузок .....	54
2.5 Сопоставление результатов расчета каркаса в двух вариантах. Анализ влияния консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса. Техничко-экономическое обоснование вариантов каркаса.....	57

ДР-08.05.01 ПЗ								
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	Пояснительная записка	Страница	Лист	Листов
Разраб.		Шаршун С.С.	<i>Шаршун</i>	09.06.22		У	6	135
Руководитель		Фроловская А.В.	<i>Фроловская</i>	09.06.22		СКиУС		
Н. контр.		Фроловская А.В.	<i>Фроловская</i>	09.06.22				
Зав. каф.		Георгиев С.В.	<i>Георгиев</i>	09.06.22				

**Отзыв руководителя  
на выпускную квалификационную работу**

Тема Векторные работы на примере термического характера на примере здания на примере термического характера  
Автор (ФИО) Мария Сергеевна Ковалева

Институт Инженерно-строительный

Выпускающая кафедра СКиУС

Специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель А.Т.Н., доцент, каф. СКиУС Гусевская А.В.  
(степень, звание, должность, место работы, Ф.И.О.)

Актуальность темы ВКР в виде дипломного проекта (работы) обоснована

Логическая последовательность структуры работы соблюдена

Аргументированность и конкретность выводов и предложений подтверждает результативность работы

Уровень самостоятельности и ответственности при работе над темой ВКР работу выполнила самостоятельно на высоком уровне

Достоинства работы работу можно закончить без замечаний на высоком техническом уровне

Недостатки работы отсутствуют

В целом работа оценена на отлично, а ее автор выпускник Мария Сергеевна Ковалева заслуживает присвоения  
(фамилия, имя, отчество)

ему (ей) квалификации специалист по направлению «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель ВКР Гусевская А.В.  
(подпись, дата)

А.В. Гусевская  
(инициалы, фамилия)

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект (работу) студента(ки) строительного факультета  
ИСИ СФУ

*Шариун Софьи Сергеевн .*  
(Ф.И.О. полностью)

Тема: *«Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра»*

Проанализировав материалы дипломного проекта (работы) отмечается:

1. Актуальность темы

*На основании проведенных исследований предлагаются варианты предотвращения прогрессирующих обрушений от внезапных нагрузок.*

2. Качество оформления пояснительной записки

*Пояснительная записка выполнена на 132 страницах с приложением грамотно, аккуратно в соответствии с существующими строительными нормами и ГОСТами графического материала*

*Графическая часть проекта выполнена на 14 листах формата А1 грамотно, аккуратно в соответствии с существующими строительными нормами и ГОСТами*

3. Общая характеристика проекта (работы)

*Выпускная квалификационная работа представлена на рецензию на 132 страницах текстового документа и 14 листах графической части*

*Дипломная работа посвящена исследованию влияния наличие консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса большепролетного здания*

4. Практическая ценность (внедрение, использование в организации и т.д.)

*Работа может быть использована при проектировании большепролетных зданий*

5. Положительные стороны проекта (работы)

- проведен обзор существующих конструктивных решений спортивных центров,*
- анализ влияния консолей на напряженно-деформируемого состояния элементов,*
- выполнен расчет каркаса здания на основные виды нагрузок,*
- выполнены численные исследования каркаса здания на прогрессирующие обрушения и повышение несущей способности каркаса путем изменения сечений элементов каркаса,,*
- вся работа выполнена с применением средств вычислительной техники,*
- тщательно выполнены статические и конструктивные расчеты каркаса.*

6. Замечания по проекту (работе).

*Фланцы к трубам ферм покрытия присоединю без ребер жесткости, достаточна ли прочность соединения без ребер?*

*В целом, несмотря на указанный недостаток, дипломный проект (работа) оценивается на отлично, а ее автор Шариун Софья Сергеевна заслуживает присвоения квалификации инженера-строителя*

Рецензент (должность, место работы, Ф.И.О.)

*Главный инженер ООО «Институт Красноярскпромгражданпроект» Матышкин А. Г*

«21» июня 2022 г.

  
\_\_\_\_\_  
(ПОДПИСЬ)

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
"СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра: "Строительные конструкции и управляемые системы"

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

08.05.01 "Строительство уникальных зданий и сооружений"

"Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра"

Руководитель

к.т.н., доцент

А.В. Фроловская

Выпускник

С.С. Шаршун

Красноярск, 2022



## Цели дипломной работы:

- исследование влияния наличия консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса большепролетного здания;
- исследование влияния различных видов особых нагрузок техногенного характера на напряженно-деформированное состояние, несущую способность и устойчивость каркаса большепролетного здания на примере спортивного центра.

## Задачи дипломной работы:

- анализ нормативно-технической документации и существующих методик расчета по теме исследования;
- обзор существующих конструктивных решений спортивных центров;
- вариантное проектирование двух вариантов каркаса (с консолями и без);
- расчет двух вариантов каркаса здания в 3D-модели с использованием программного комплекса SCAD Office на основные нагрузки;
- анализ влияния наличия консолей на НДС элементов каркаса;
- численные исследования изменения напряженно-деформированного состояния элементов каркаса от особых нагрузок техногенного характера (прогрессирующее обрушение, удар автотранспортного средства, внутренний взрыв);
- разработка конструктивных решений каркаса здания с учетом выполненных численных исследований.

## Новизна дипломной работы:

Результаты численных исследований расчета каркаса уникального здания пролетом 104,2 метра на особые виды нагрузок техногенного характера, а также результаты анализа влияния наличия консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса большепролетного здания.

# Вариант 1

Схема расположения элементов покрытия каркаса с консолями

Схема расположения несущих элементов каркаса с консолями

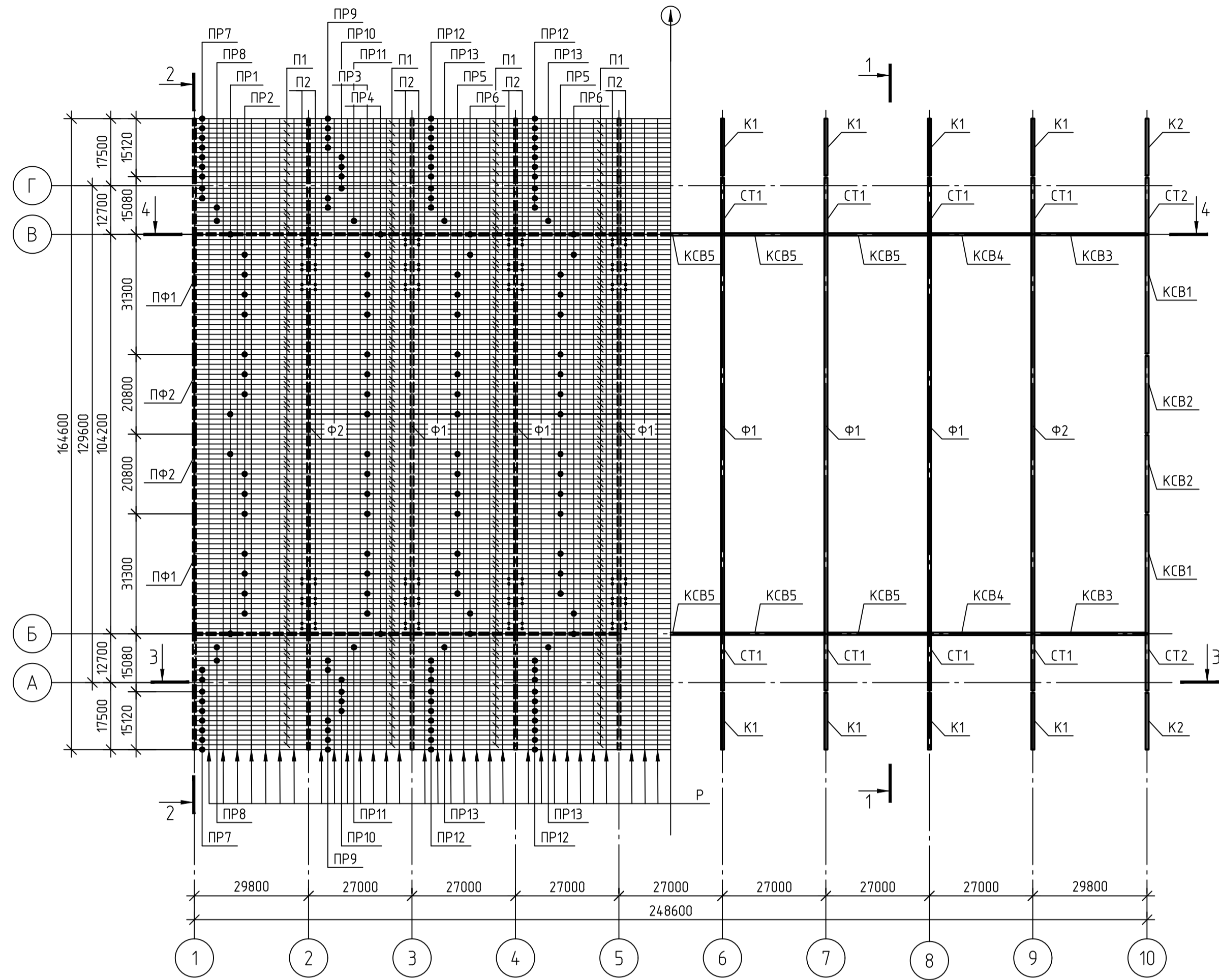


Схема расположения элементов факхверка для двух вариантов каркаса

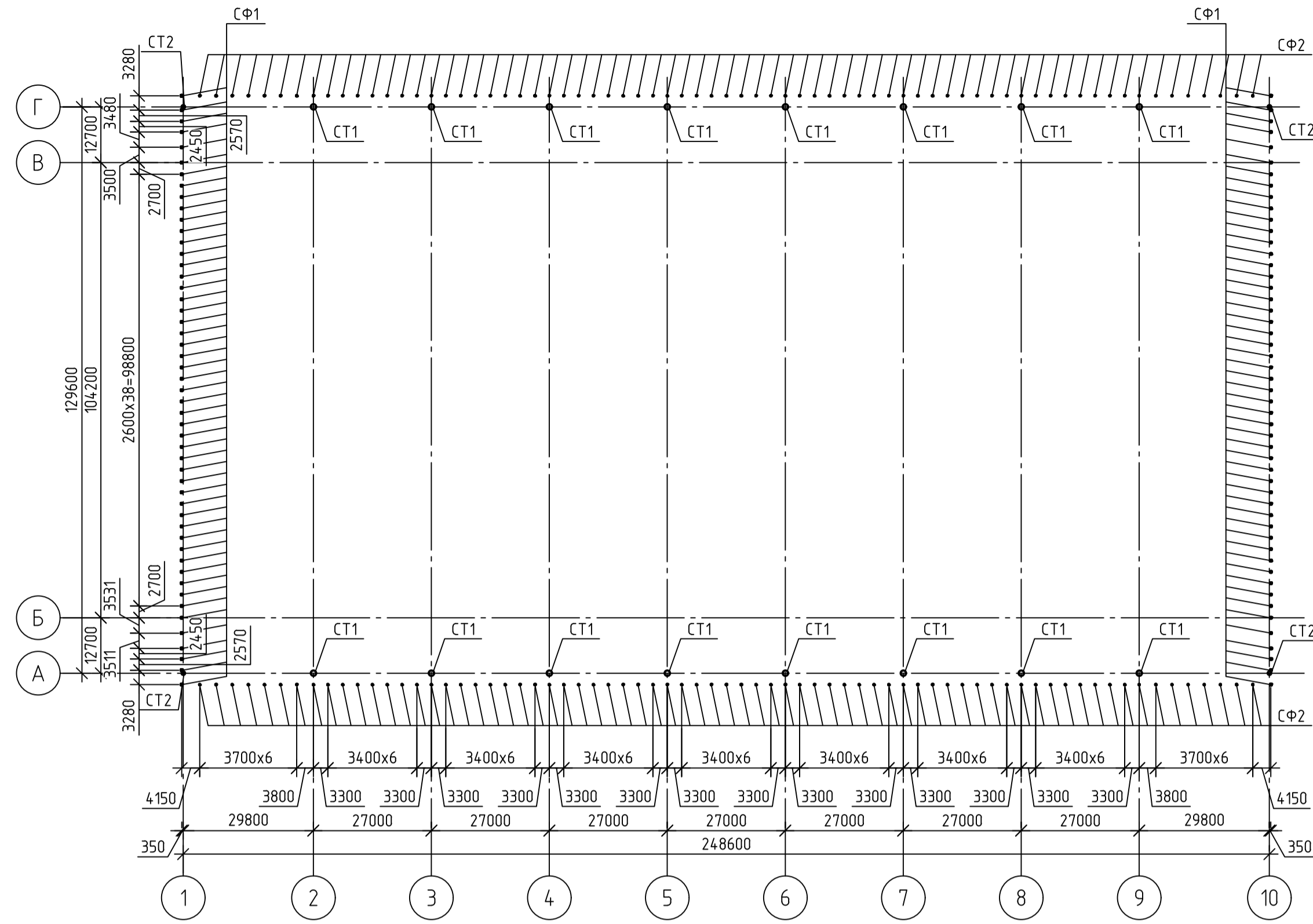
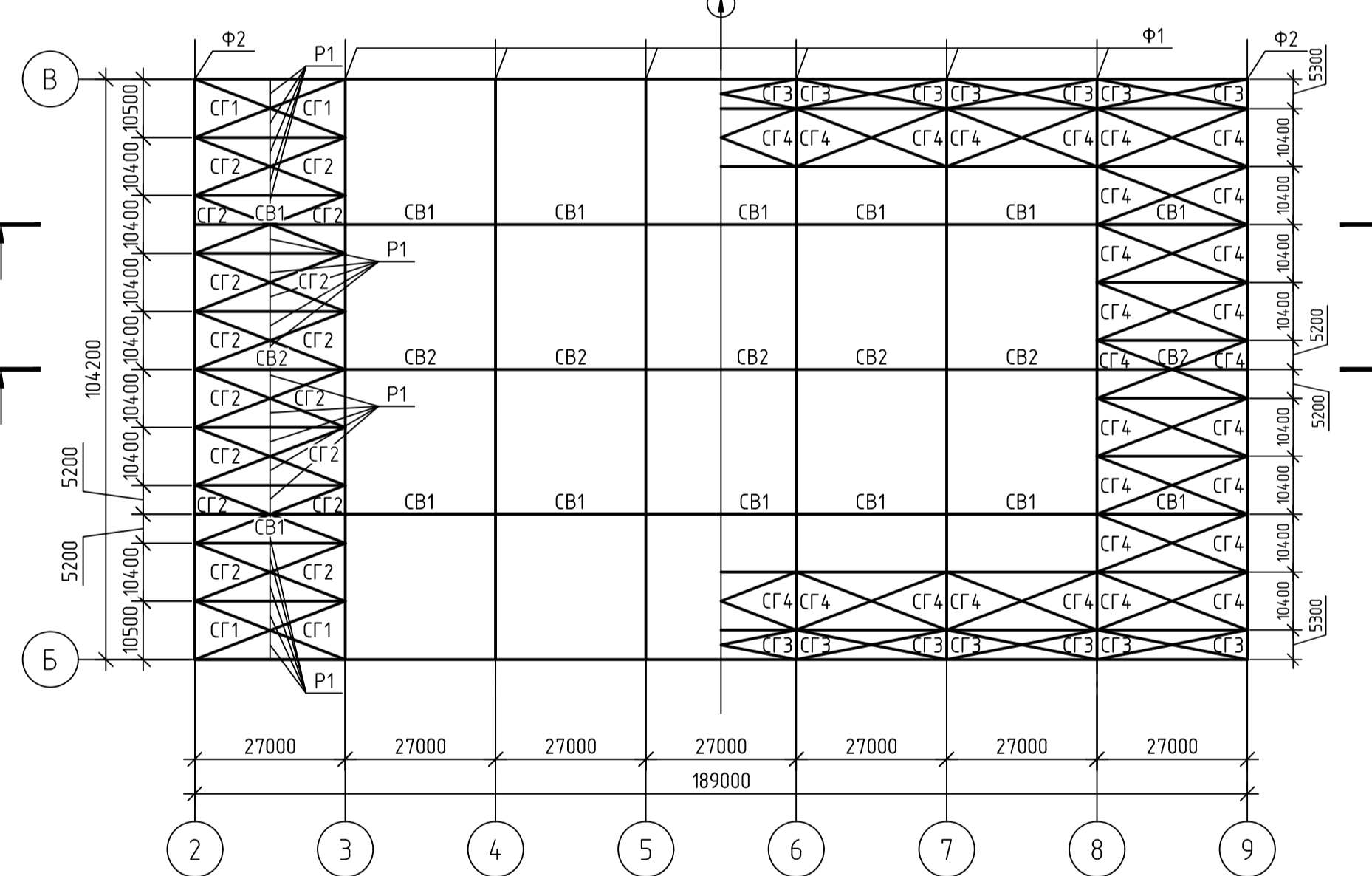


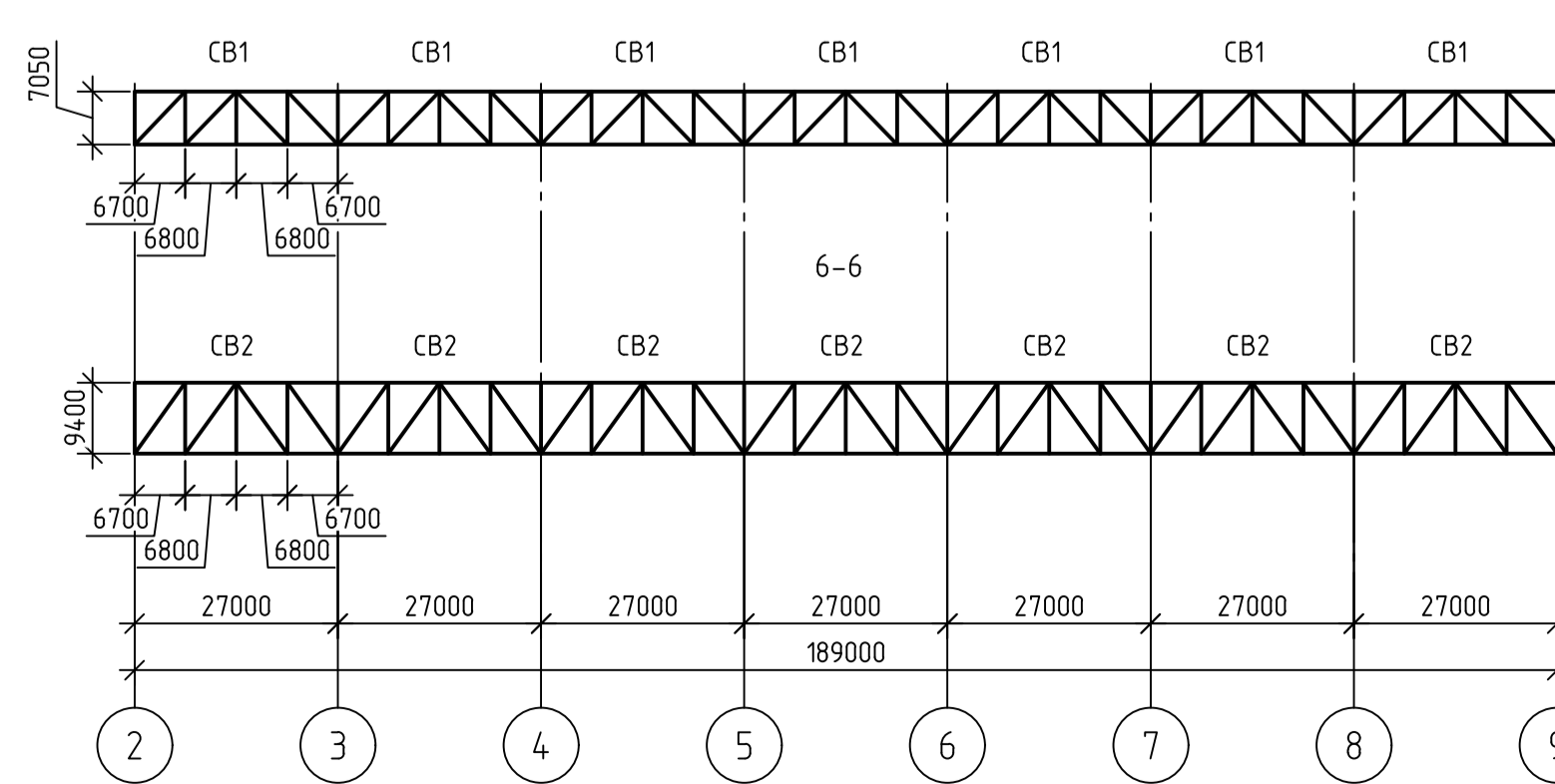
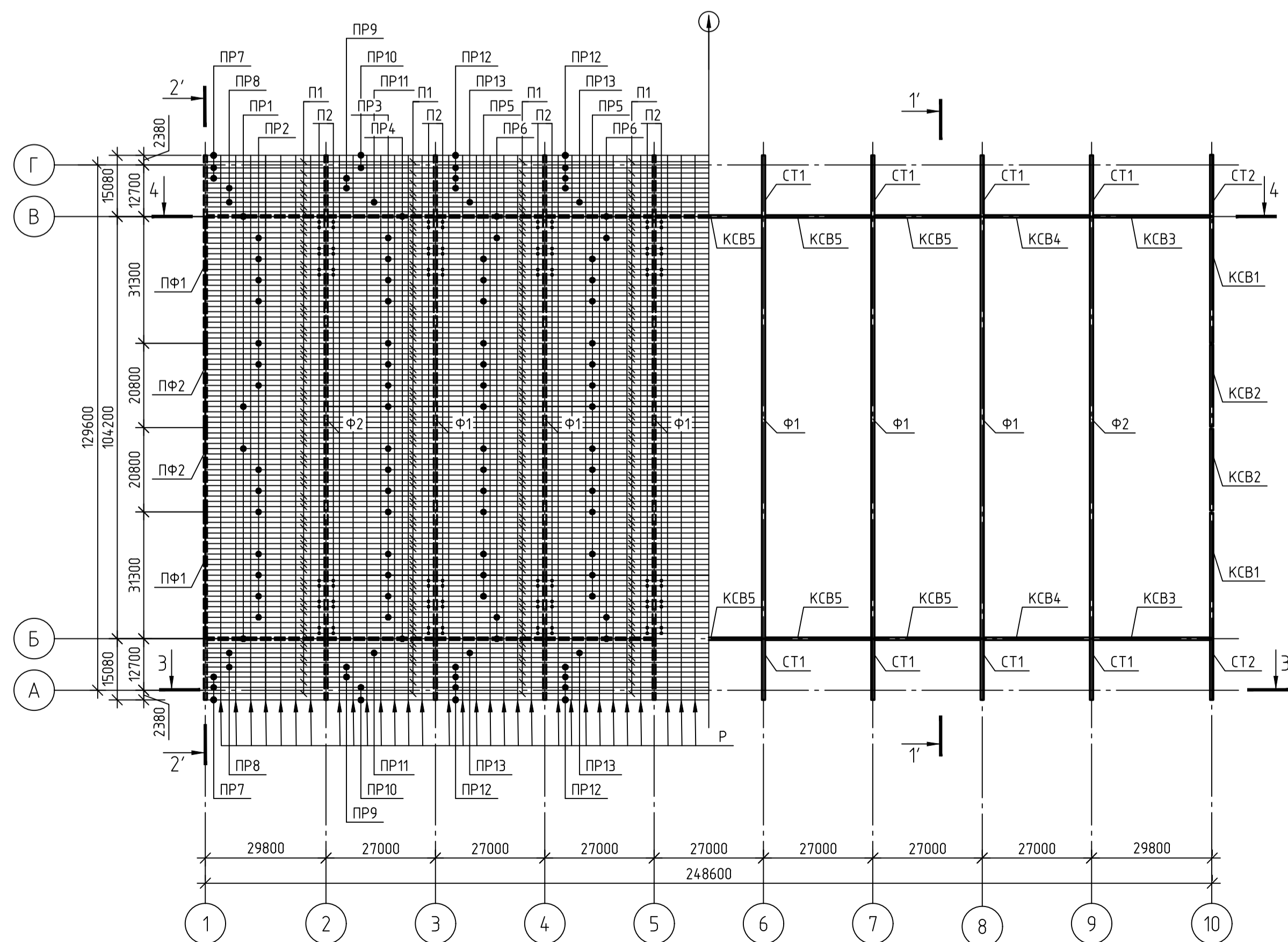
Схема расположения связей для двух вариантов каркаса по верхним поясам ферм по нижним поясам ферм



# Вариант 2

Схема расположения элементов покрытия каркаса без консолей

Схема расположения несущих элементов каркаса без консолей



Ведомость элементов

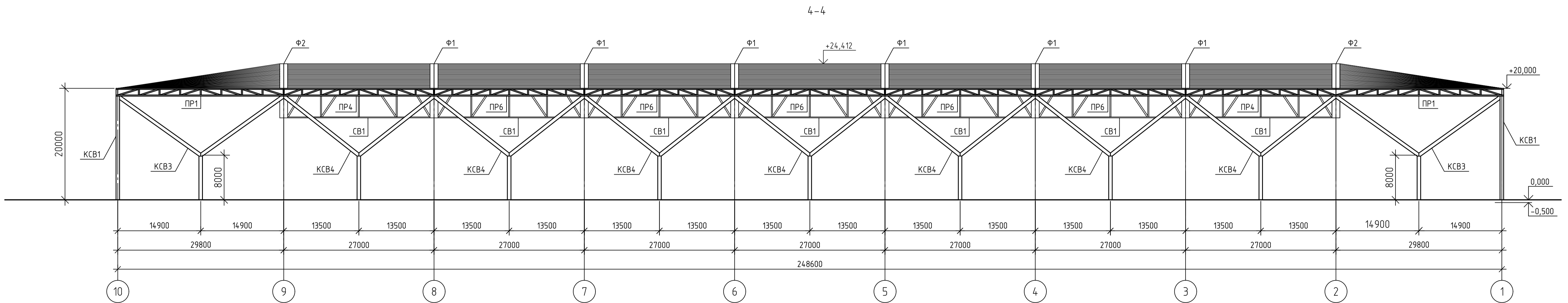
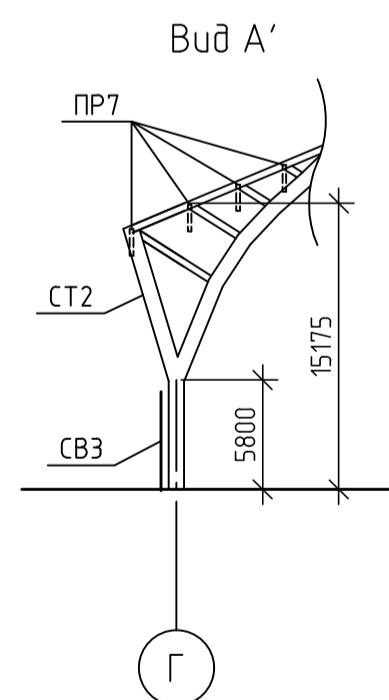
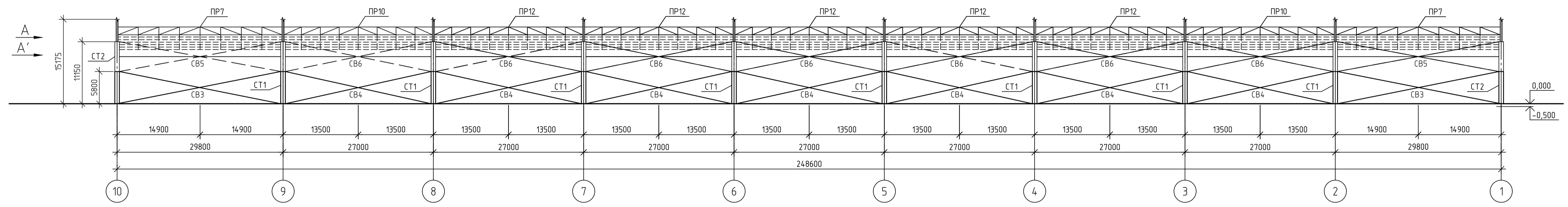
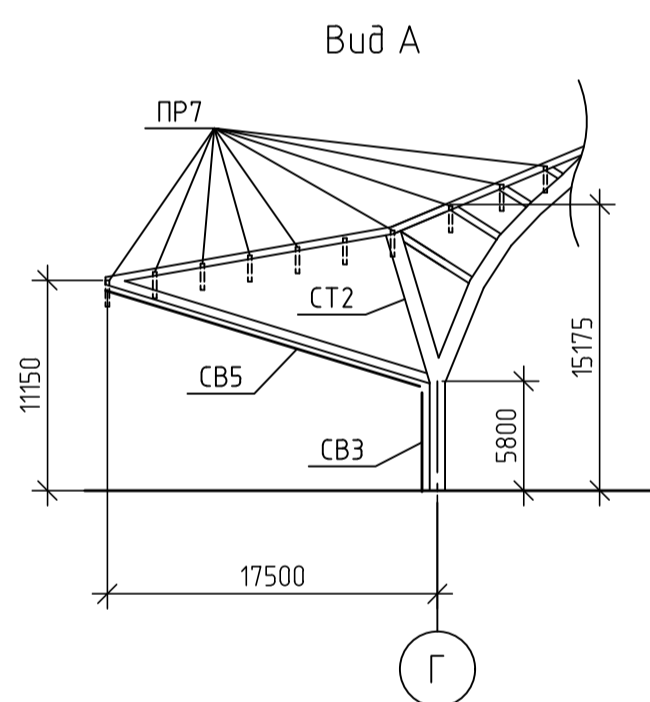
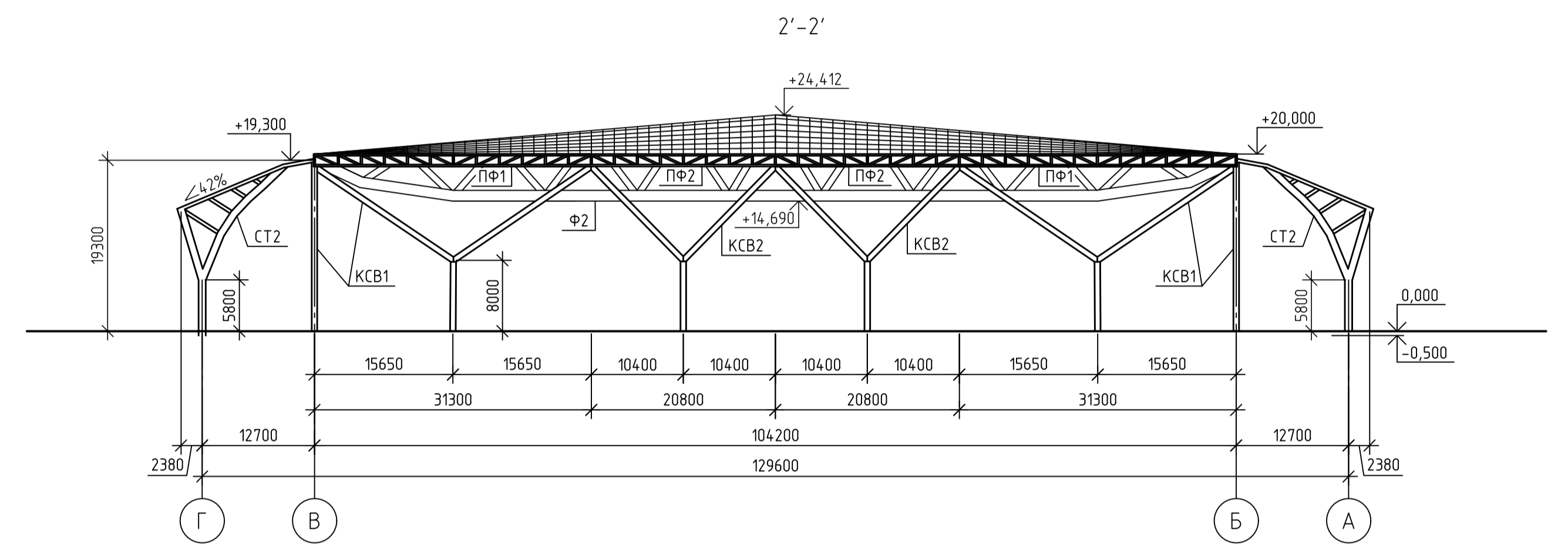
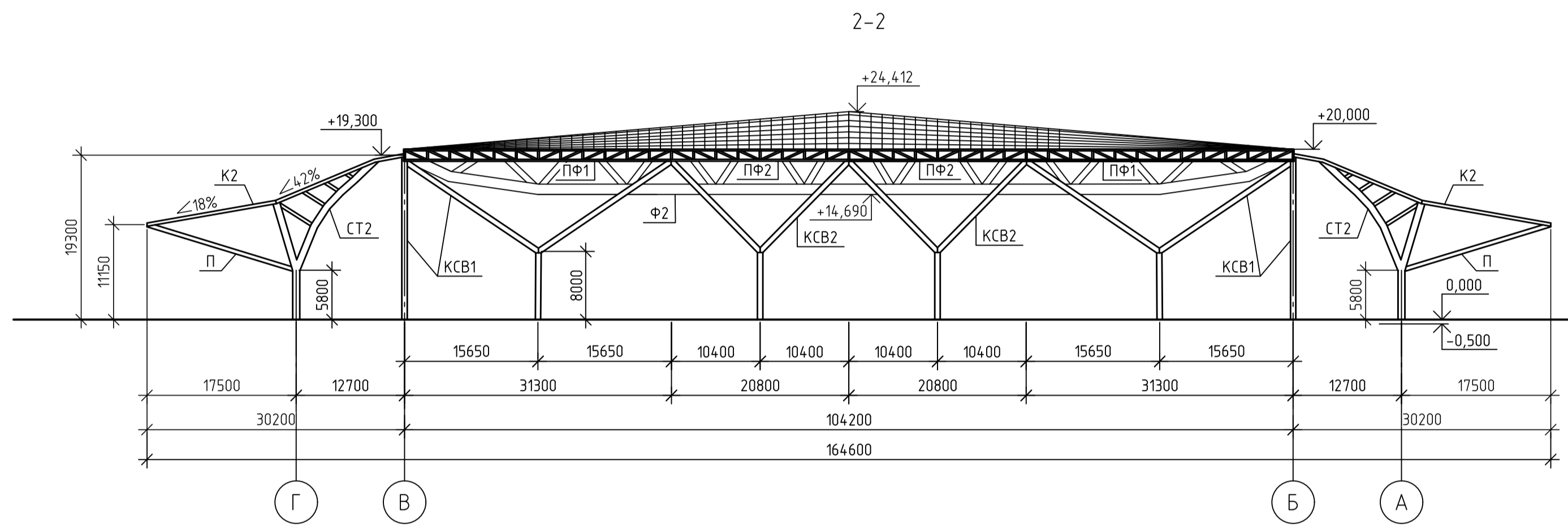
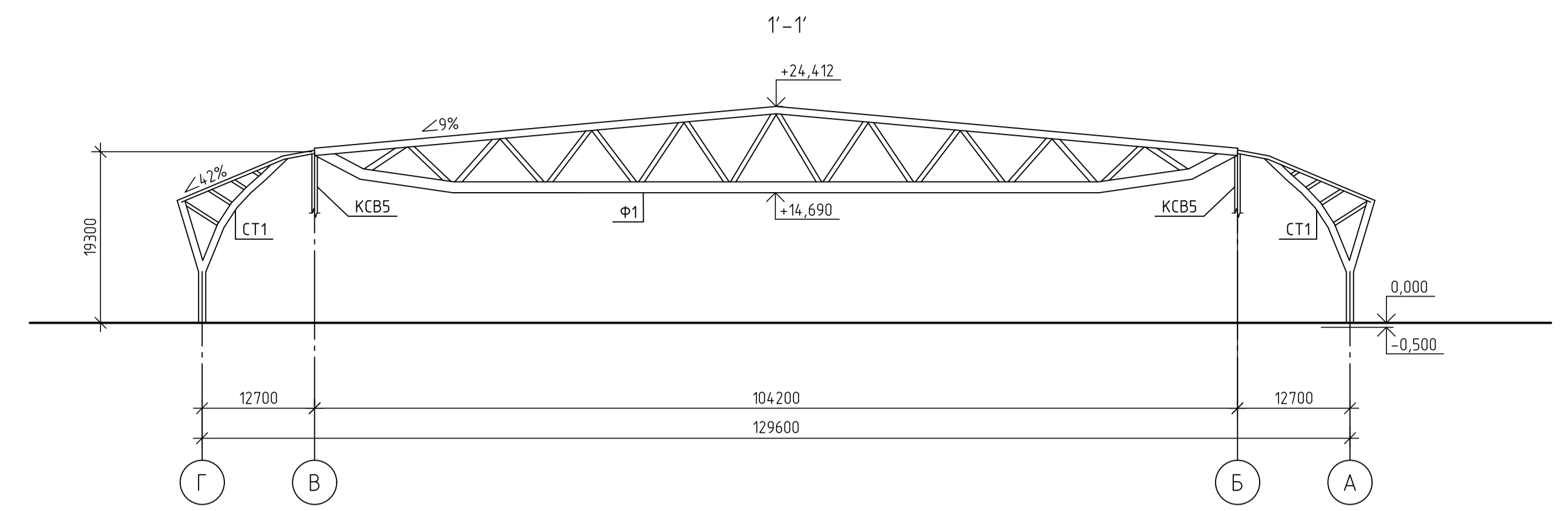
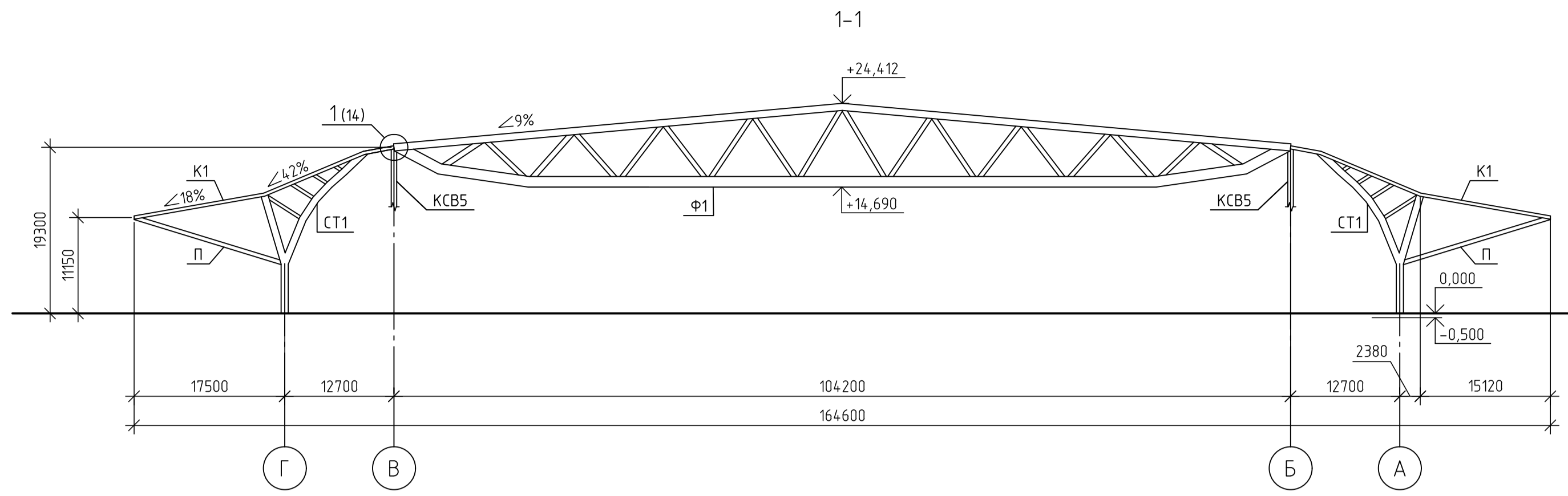
Марка элемента	Сечение		Усилия для прикрепления			Наименование или марка металла	Примечание
	Эскиз	Поз.	Состав	Q, кН	N, кН		
СТ1		1	Тр. Ø820x25	-813,11	-2065,92	2668,67	С345
		2	Тр. Ø530x8	-73,85	-713,41	305,54	С345
		3	Тр. Ø530x15	41,12	2020,45	-	С345
		4	Тр. Ø530x7	107,01	-180,51	-338,18	С345
СТ2		1	Тр. Ø1220x18	-1212,33	-4165,9	4661,86	С345
		2	Тр. Ø820x25	-2196,53	22,07	-1128,19	С345
		3	Тр. Ø530x30	-233,2	-1671,94	906	С345
		4	Тр. Ø530x15	141,92	-1111,85	-	С345
		5	Тр. Ø530x20	606,04	2733,2	-1996,88	С345
		6	Тр. Ø530x7	-540,53	76,09	377,98	С345
		7	Тр. Ø630x35	566,76	-517,83	-1943,78	С345
Ф1		сложный	166,26	9819,92	-	С345	см. лист 13
Ф2		сложный	-199,67	9042,17	-	С345	
К1		сложный	-1828,15	2000,12	-3260,94	С345	
К2		сложный	-826,26	943,54	-1377,08	С345	
П		Тр. Ø530x10	58,93	-1290,83	-372,91	С345	
КСВ1		1	Тр. Ø355x6x6	-11,05	-329,49	-46,05	С345
		2	Тр. Ø355x6x6	-17,6	-273,1	-112,46	С345
		3	Тр. Ø530x6	15,58	-257,81	-70,1	С345
КСВ2		1	Тр. Ø1020x15	392,83	-2057,49	2065,94	С345
		2	Тр. Ø630x18	59,55	-1752,19	-545,75	С345
КСВ3		1	Тр. Ø1020x15	-36,9	-3180,84	185,09	С345
		2	Тр. Ø630x30	48,6	-2380,37	60,76	С345
		3	Тр. Ø630x25	94,31	-2853,08	-782,64	С345
КСВ4		1	Тр. Ø630x25	-26,56	-2493,48	87,28	С345
		2	Тр. Ø1020x15	109,19	-5058,75	-753,95	С345
		3	Тр. Ø630x25	36,49	-5840,04	-173,82	С345
КСВ5		1	Тр. Ø630x30	-4,95	-3161,26	-13,85	С345
		2	Тр. Ø630x30	45,95	-3917,54	-220,84	С345
ПР1		сложный	4,88	55,36	-3,64	С345	
ПР2		сложный	-4	112,95	-1,82	С345	
ПР3		сложный	3,39	76,68	-1,59	С345	
ПР4		сложный	3,41	106,06	-1,68	С345	
ПР5		сложный	0,75	-20,84	-0,54	С345	
ПР6		сложный	3,97	-103,42	-2,26	С345	
ПР7		сложный	-20,21	290,22	-20,21	С345	
ПР8		сложный	0,97	215,79	6,3	С345	
ПР9		сложный	2,51	99,2	-2,17	С345	
ПР10		сложный	20,8	387,8	-18,45	С345	
ПР11		сложный	7,02	113,47	-7,29	С345	
ПР12		сложный	19,08	355,51	-15,3	С345	
ПР13		сложный	5,99	75,22	-5,61	С345	
П1		с350x13	16,1	107,3	-40,44	С345	
П2		с350x15	48,82	122,45	-124,91	С345	
ПФ1		сложный	42,35	-501,9	-59,91	С345	
ПФ2		сложный	29,31	-459,1	-55,2	С345	
СВ1		сложный	-14,8	21,51	-45,01	С345	
СВ2		сложный	-1,73	-19,04	30,55	С345	
СВ3, СВ4		Тр. Ø530x5	4,78	-64,3	-11,42	С345	
СВ5, СВ6		Тр. Ø426x6	0,84	-65,95	35,73	С345	
СГ1		Тр. Ø426x20	22,81	-1051,23	-89,17	С345	
СГ2		Тр. Ø426x20	-22,88	220,38	-80,86	С345	
СГ3		Тр. Ø426x5	-8,51	804,22	-46,53	С345	
СГ4		Тр. Ø426x5	0,17	85,71	17,7	С345	
Р		сложный	-	-	-	С345	
Р1		Тр. Ø325x20	9,49	-588,17	-18,36	С345	
СФ1		с300x8	0,1	-29,38	-1,86	С345	
СФ2		с180x5	-14,18	-14,46	36,44	С345	

ДР-08.05.01-2022 КМ					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Шарыгин С.С.				
Провер.	Фроловская А.В.				
Влияние осадок на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобегового центра					
			Стандия	Лист	Листов
			У	3	
Планы расположения несущих элементов и элементов покрытия для вариантов каркаса с консолями и без консолей, схемы расположения элементов факхверка и связей для двух вариантов каркаса, ведомость элементов					
СКУС					

1. Работать совместно с листами 4, 13, 14.  
2. Материал конструкций - сталь 345.

# Вариант 1

# Вариант 2



1. Работать совместно с листами 3.13,14.
2. Разрезы обозначены на листе 3.
3. Для второго варианта каркаса СБ5 и СБ6 на разрезе 3-3 отсутствуют.

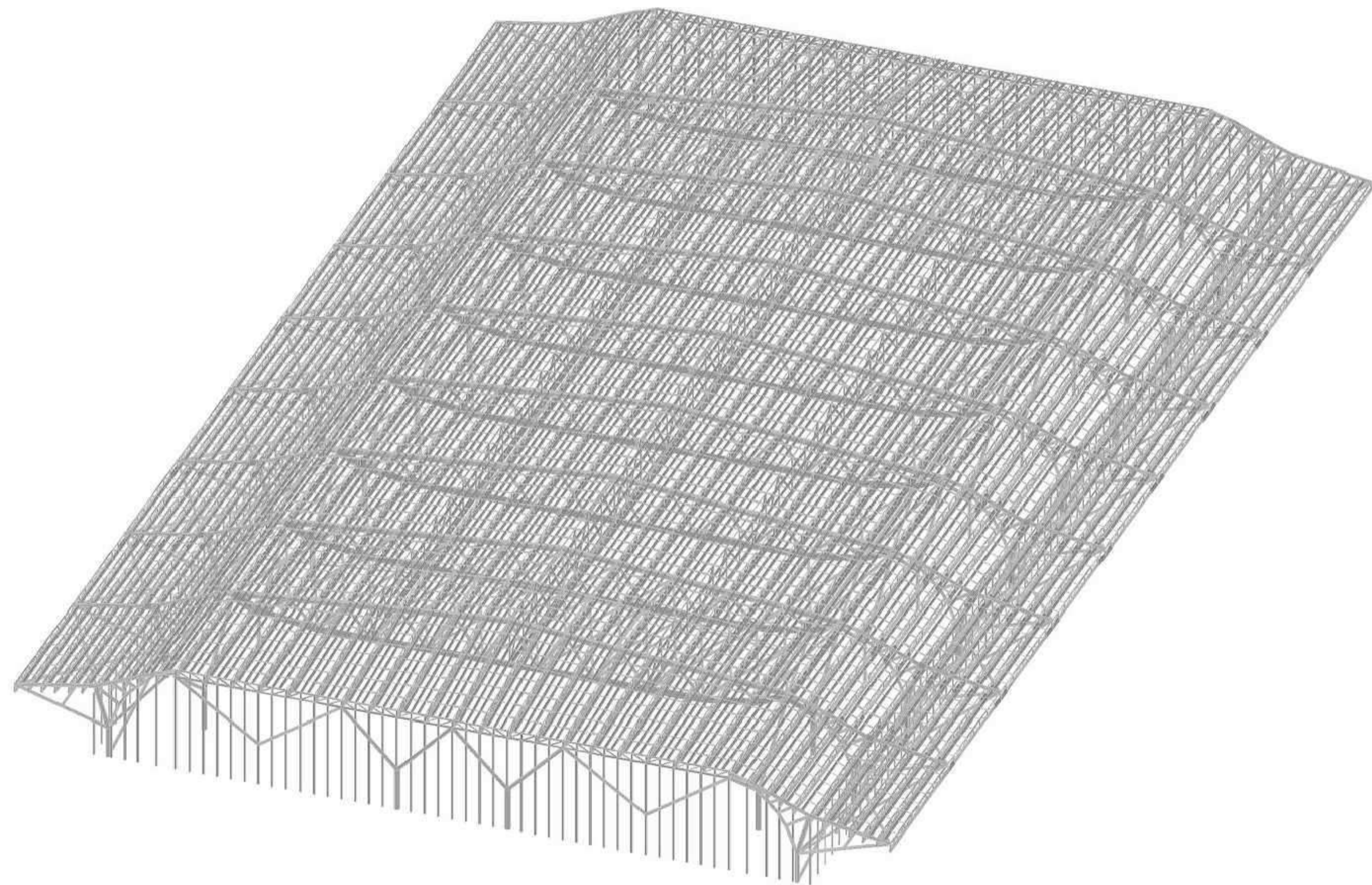
ДР-08.05.01-2022 КМ					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Шаршун С.С.				
Провер.	Фроловская А.В.				
Влияние осадок на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра			Стация	Лист	Листов
			У	4	
Н. контр. Фроловская А.В.			Разрезы 1-1, 1'-1', 2-2, 2'-2', 3-3, 4-4, виды А и А'		
Зад. кафедры Деоридиев С.В.			СКУС		

# Численные исследования

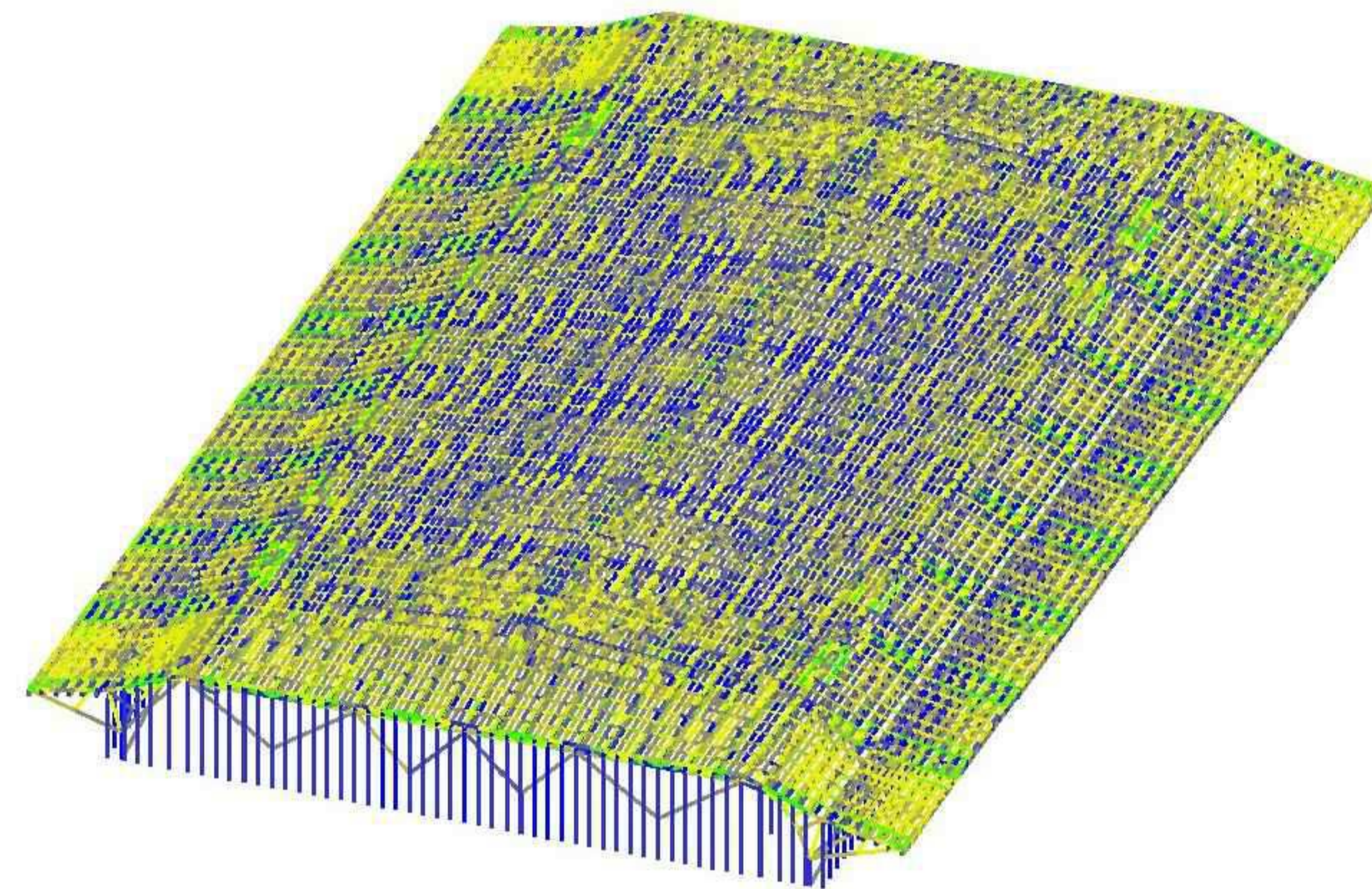
Цель: исследование влияния наличия консолей на напряженно-деформированное состояние элементов каркаса.

Задачи: расчет двух вариантов каркаса здания в 3D-модели с использованием ПК SCAD на основные нагрузки; анализ влияния наличия консолей на НДС элементов каркаса.

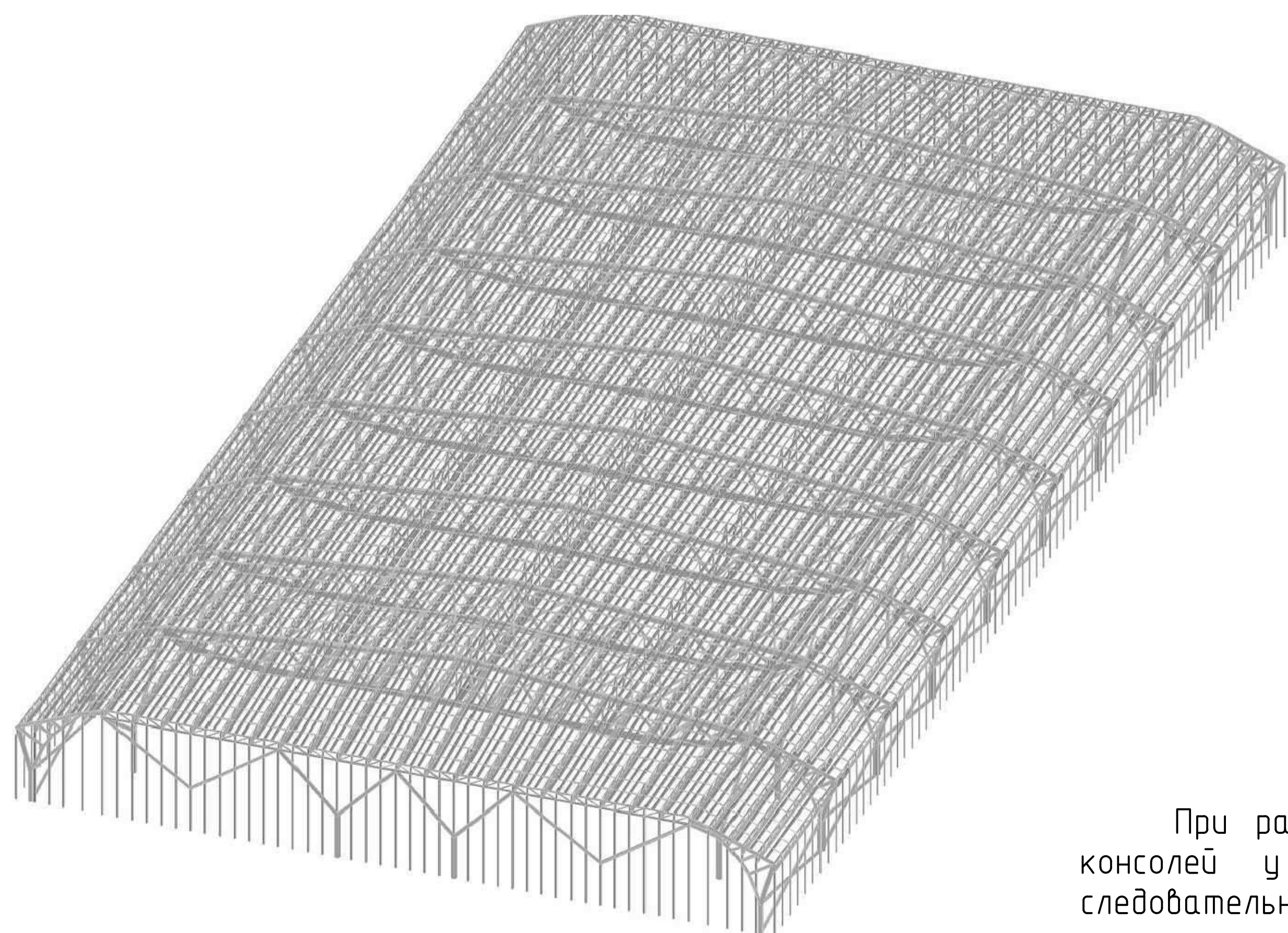
Расчетная модель каркаса с консолями в ПК SCAD



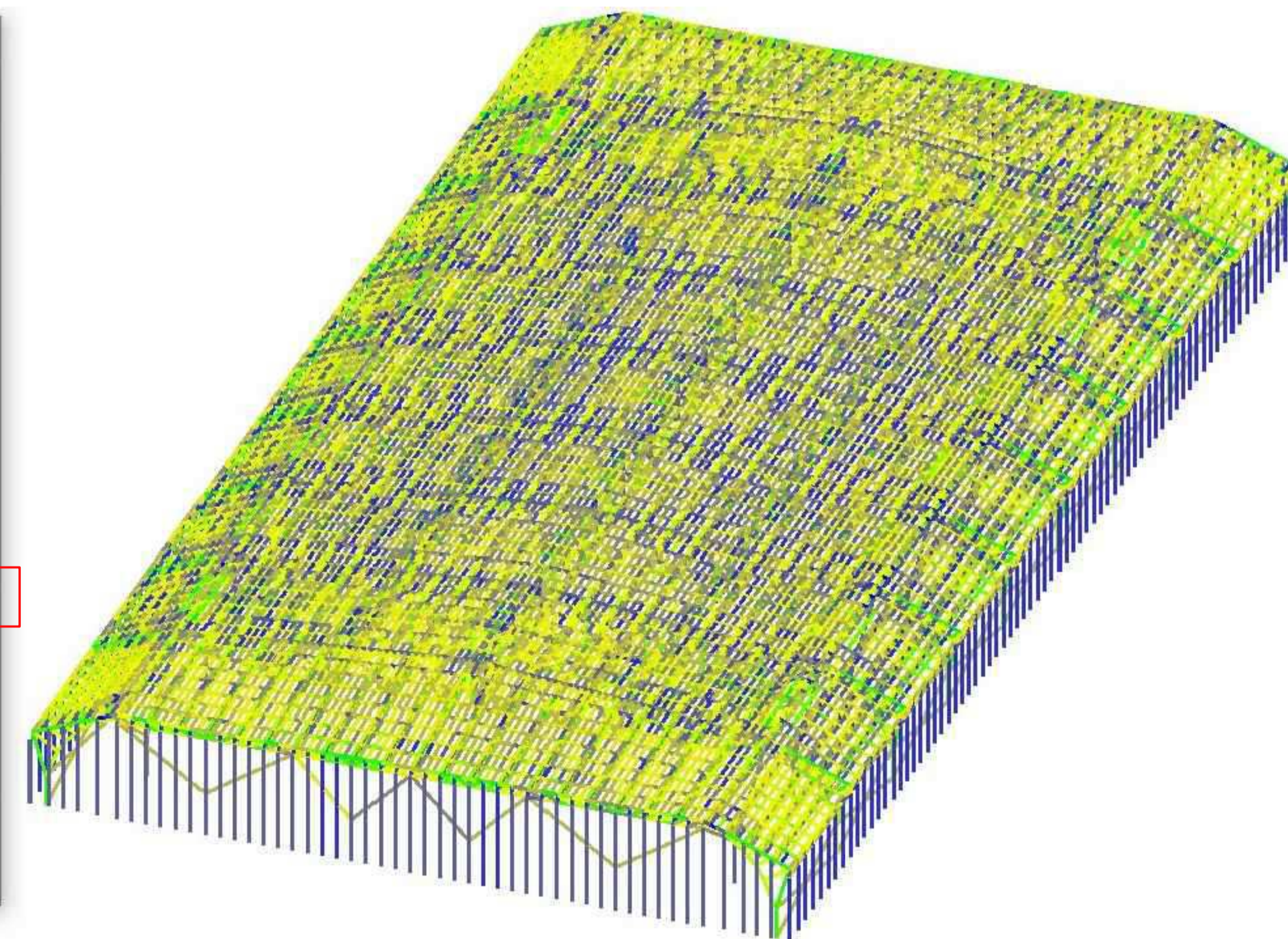
Критический фактор для элементов каркаса с консолями при расчете на основные виды нагрузок



Расчетная модель каркаса без консолей в ПК SCAD



Критический фактор для элементов каркаса без консолей при расчете на основные виды нагрузок

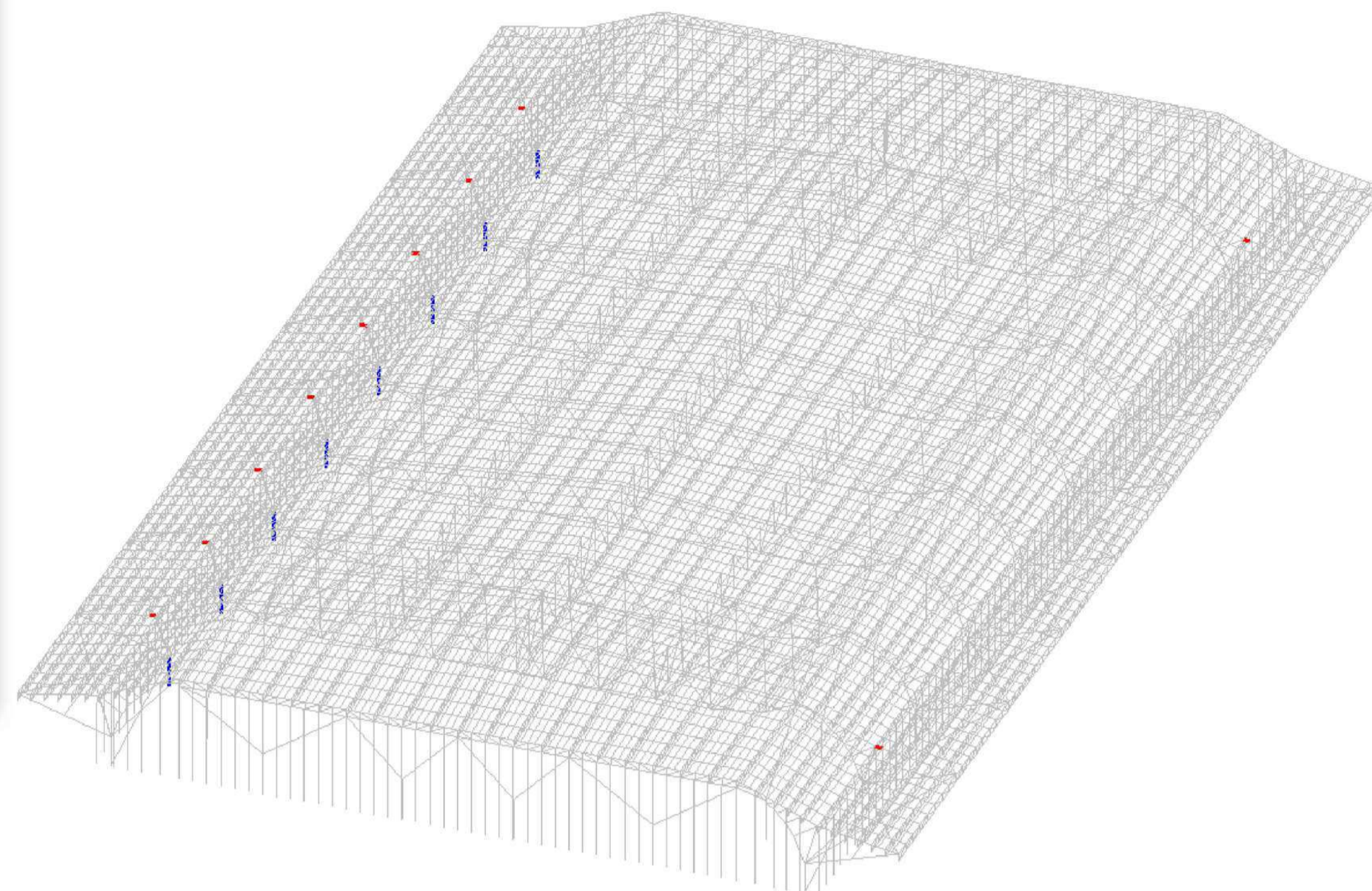


При расчете на основные нагрузки для варианта каркаса без консолей у некоторых элементов критический фактор  $K_{max} > 1$ , следовательно, данные элементы не удовлетворяют требованиям прочности, устойчивости или гибкости.

						ДР-08.05.01-2022 ТЧ			
						ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет" Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Влияние особых на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра	Страница	Лист	Листов
Разраб.	Шарыгин С.С.						4	5	
Провер.	Фроловская А.В.					Расчетные модели двух вариантов каркаса, критический фактор для двух вариантов каркаса при расчете на основные нагрузки	СКУС		
Н. контр.	Фроловская А.В.								
Заф. кафедры	Дворниев С.В.								

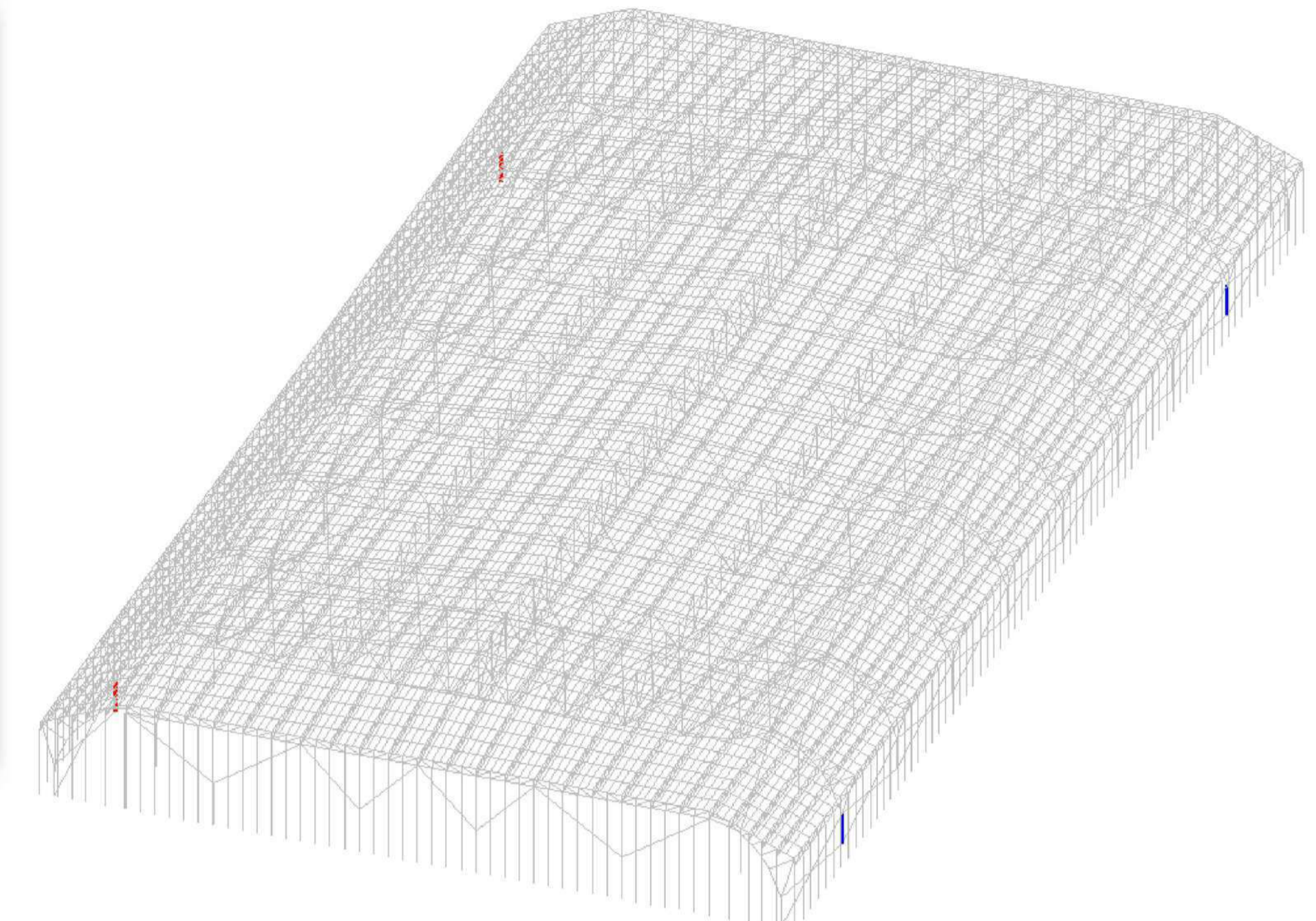
Максимальные  $M_y$  для 1 варианта при расчете на основные нагрузки

$M_y$	кН*м	кН*м	
-5602,44	-4747,13	10	
-4747,13	-3891,82	14	
-3891,82	-3036,5	2	
-3036,5	-2181,19	22	
-2181,19	-1325,87	34	
-1325,87	-470,56	168	
-470,56	384,75	28972	
384,75	1240,07	208	
1240,07	2095,38	134	
2095,38	2950,7	12	
2950,7	3806,01	0	
3806,01	4661,32	8	



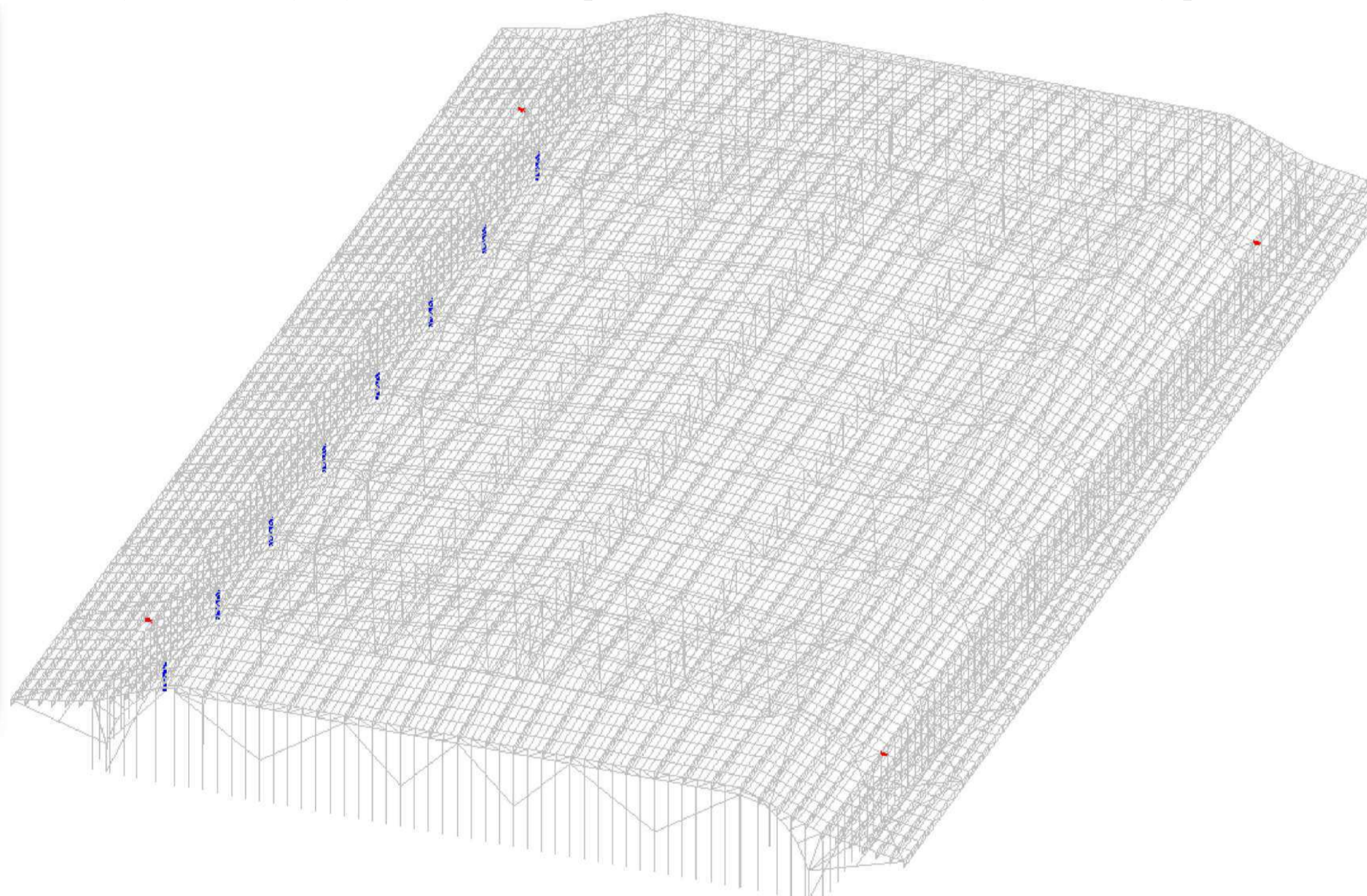
Максимальные  $M_y$  для 2 варианта при расчете на основные нагрузки

$M_y$	кН*м	кН*м	
-2685,84	-2210,92	2	
-2210,92	-1736,01	0	
-1736,01	-1261,09	6	
-1261,09	-786,18	19	
-786,18	-311,26	118	
-311,26	163,66	22755	
163,66	638,57	301	
638,57	1113,49	55	
1113,49	1588,41	82	
1588,41	2063,32	12	
2063,32	2538,24	0	
2538,24	3013,16	2	



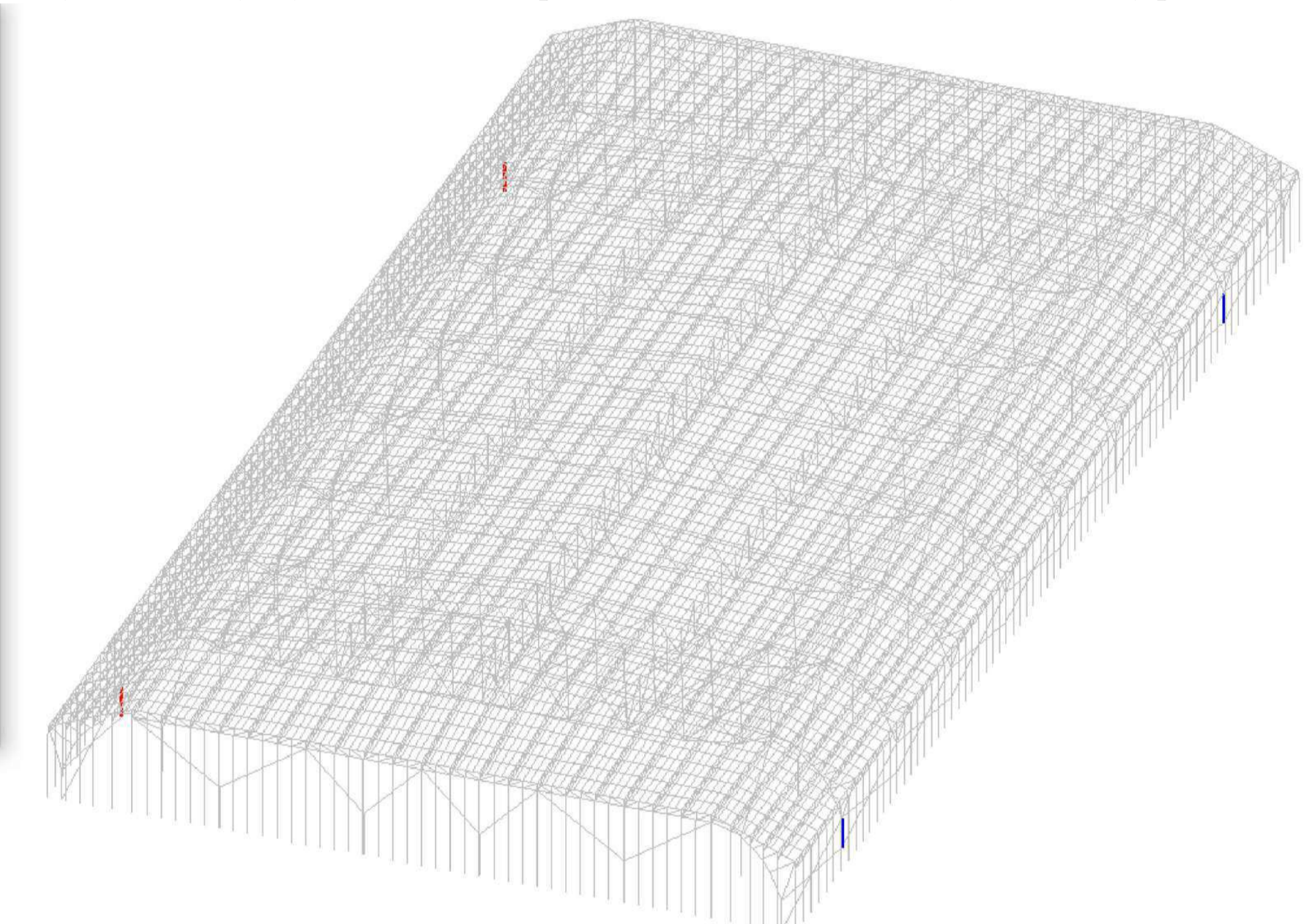
Максимальные  $M_y$  для 1 варианта при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок

$M_y$	кН*м	кН*м	
-2088,28	-1767,43	4	
-1767,43	-1446,57	20	
-1446,57	-1125,72	6	
-1125,72	-804,86	20	
-804,86	-484,01	72	
-484,01	-163,15	252	
-163,15	157,71	28824	
157,71	478,56	144	
478,56	799,42	166	
799,42	1120,27	66	
1120,27	1441,13	2	
1441,13	1761,98	8	



Максимальные  $M_y$  для 2 варианта при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок

$M_y$	кН*м	кН*м	
-1679,54	-1396,56	2	
-1396,56	-1113,59	0	
-1113,59	-830,61	0	
-830,61	-547,63	24	
-547,63	-264,65	40	
-264,65	18,32	19587	
18,32	301,3	3528	
301,3	584,28	59	
584,28	867,26	82	
867,26	1150,23	28	
1150,23	1433,21	0	
1433,21	1716,19	2	



Сопоставление максимальных  $M_y$  и  $Q_z$  для двух вариантов каркаса при расчете на основные нагрузки и при расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок

Критерий сравнения	Расчет на основные нагрузки		Расчет без учета снеговой и ветровой нагрузок	
	Каркас с консолями	Каркас без консолей	Каркас с консолями	Каркас без консолей
Максимальный изгибающий момент, кНм	-5602,44	3013,16	-2088,28	1716,19
Максимальный изгибающий момент в решетчатой стойке, кНм	4661,32		1761,98	
Максимальная поперечная сила, кН	-1835,38	-752,38	-611,42	-459,08
Максимальная поперечная сила в решетчатой стойке, кН	-1218,97		-462,83	

При расчете на основные нагрузки максимальный изгибающий момент в решетчатой стойке в варианте каркаса с консолями на 35% больше, чем в варианте каркаса без консолей. При расчете без учета снеговой и ветровой нагрузок разница максимальных изгибающих моментов в решетчатой стойке для двух вариантов каркаса составляет всего 3%. Следовательно, учет снеговой и ветровой нагрузок на консольные вылеты приводит к увеличению усилий в элементах.

Окончательный выбор варианта обосновывается не только конструктивными и технико-экономическими, но и архитектурно-художественными требованиями.

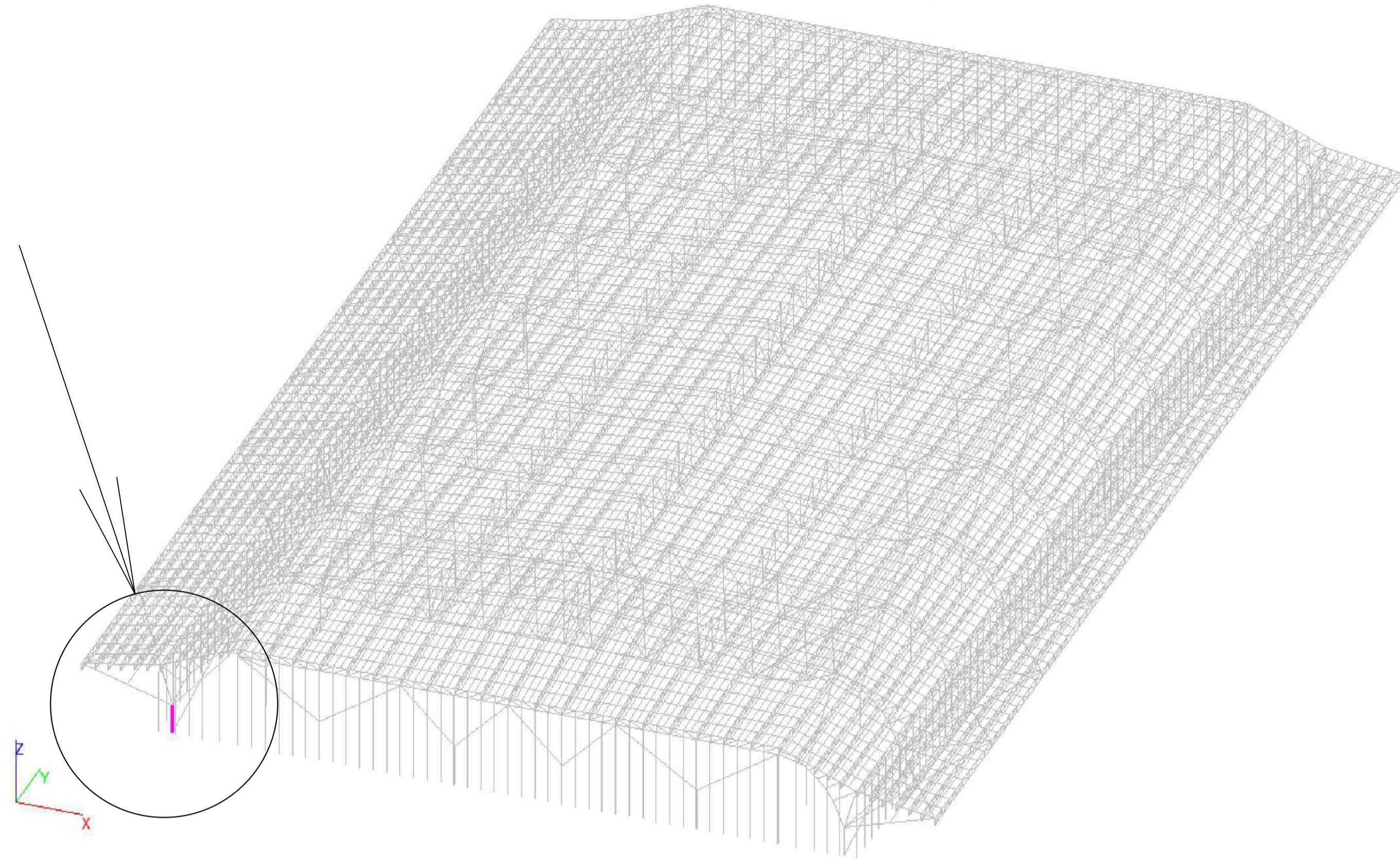
Для дальнейшего анализа влияния особых видов нагрузок техногенного характера на НДС элементов выбран каркас с консолями.

ДР-08.05.01-2022 ТЧ				
ФГА ОУ ВО "Сибирский федеральный университет"				
Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Дата
Разраб.	Шаршин С.С.			
Провер.	Фроловская А.В.			
Влияние особых на грузов техногенного характера на НДС здания на примере крытого конькобежного центра				
Анализ влияния консолей на НДС каркаса, сопоставление результатов расчетов на основные виды нагрузок				
Н. контр.	Фроловская А.В.			
Заф. кафедры	Дворниев С.В.			
Стандия	Лист	Листов		
4	6		СКУС	

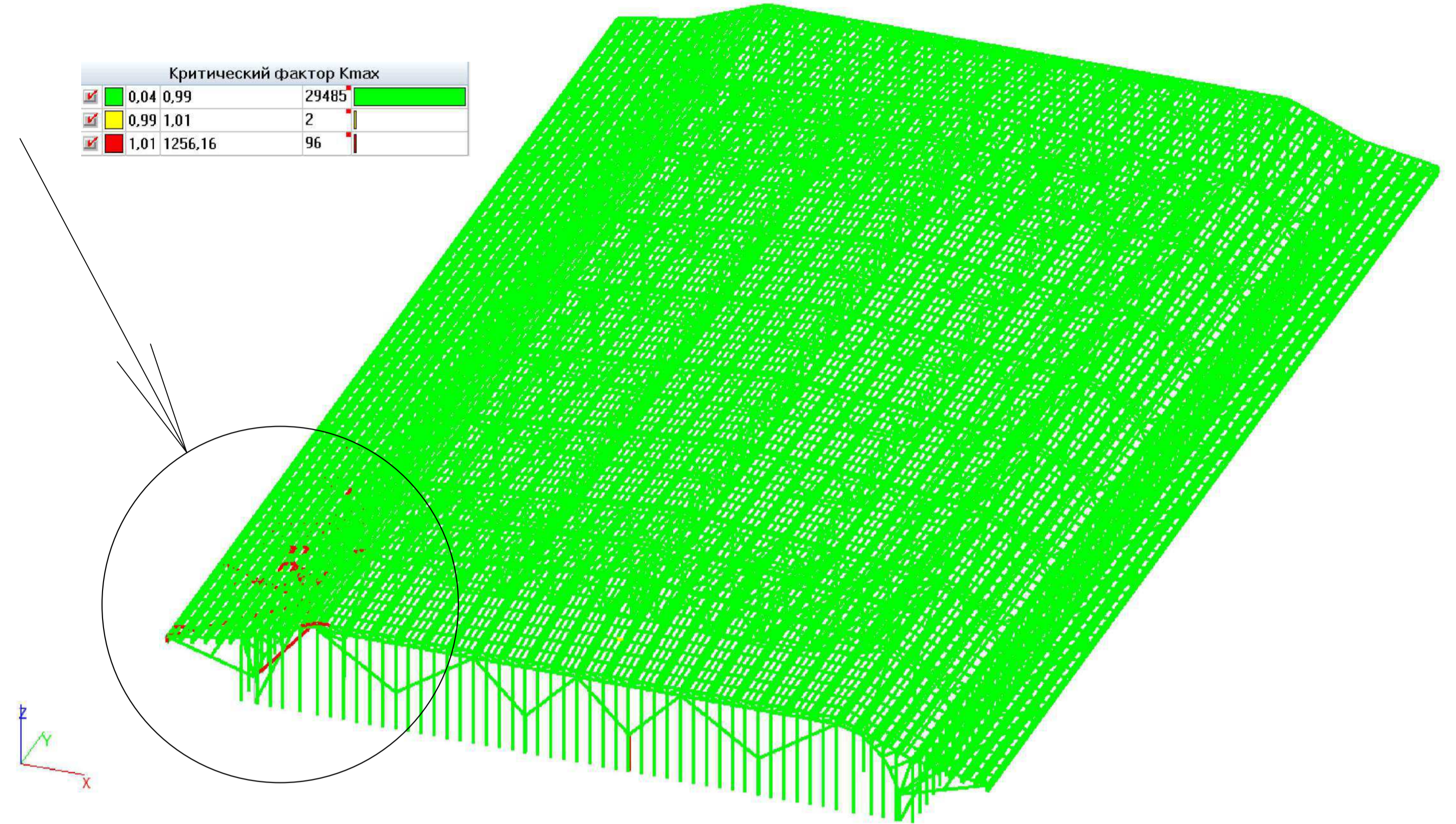
Цель: исследование влияния различных видов особых нагрузок техногенного характера на НДС, несущую способность и устойчивость каркаса большепролетного здания.

Задача: численные исследования изменения НДС элементов каркаса от особых нагрузок.

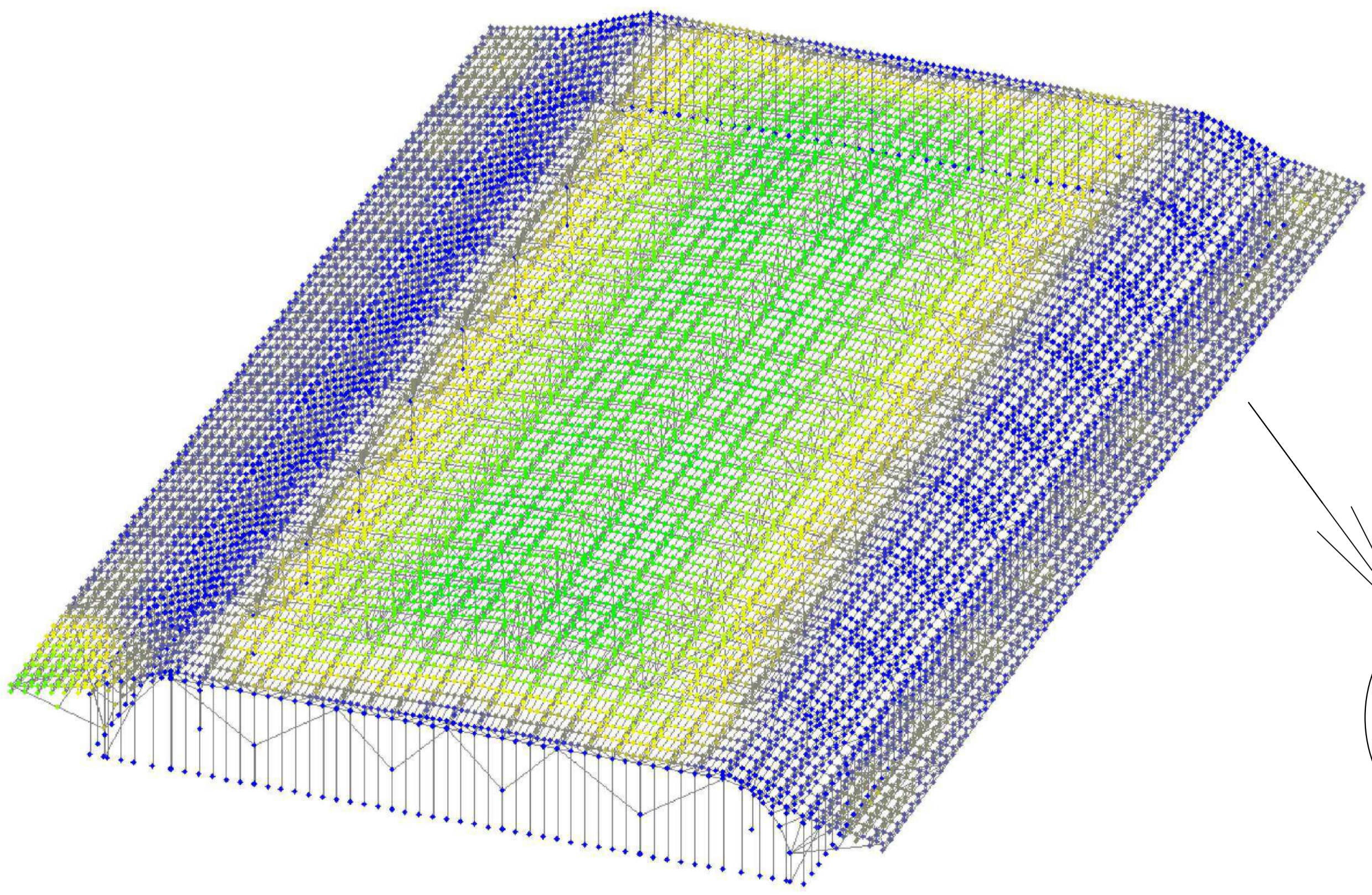
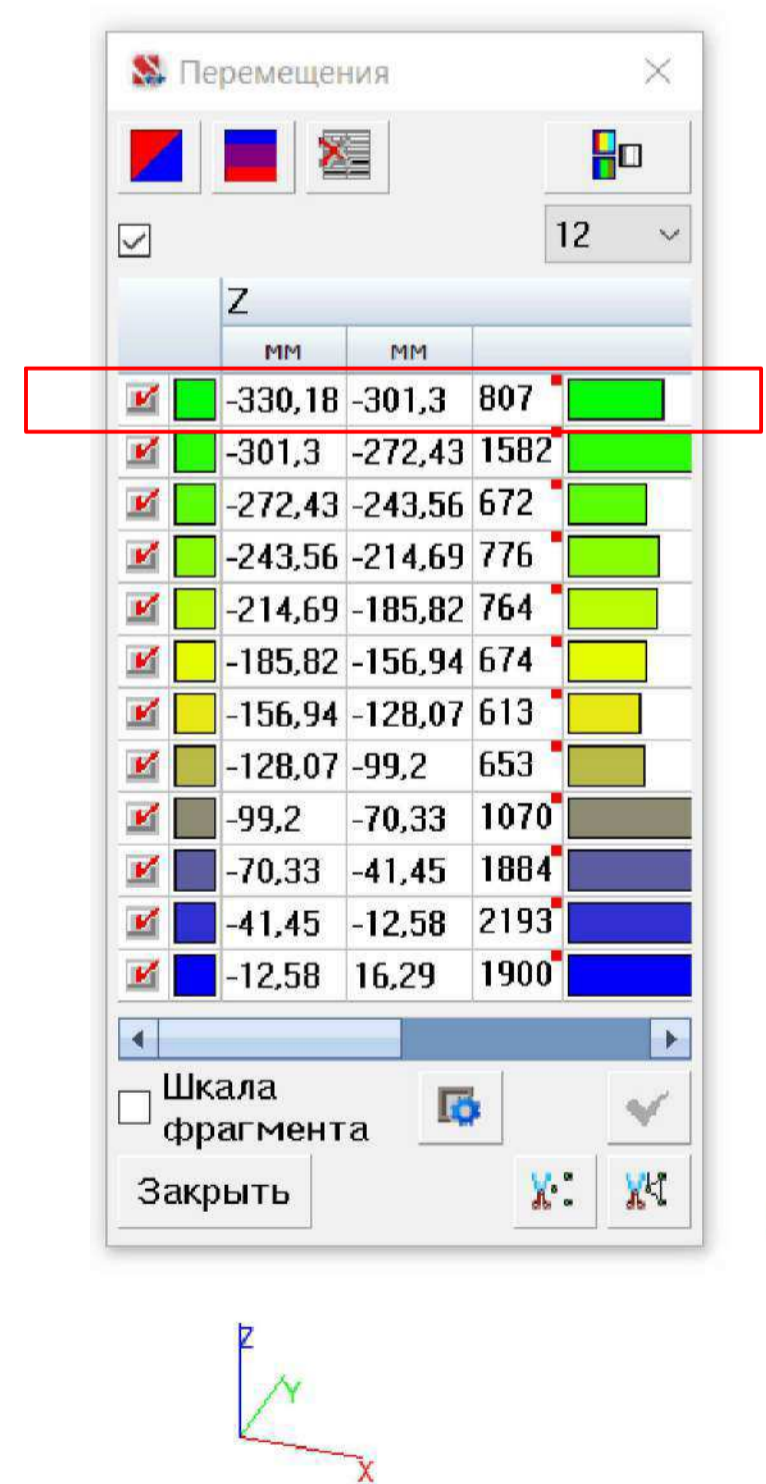
Удаляемый элемент каркаса



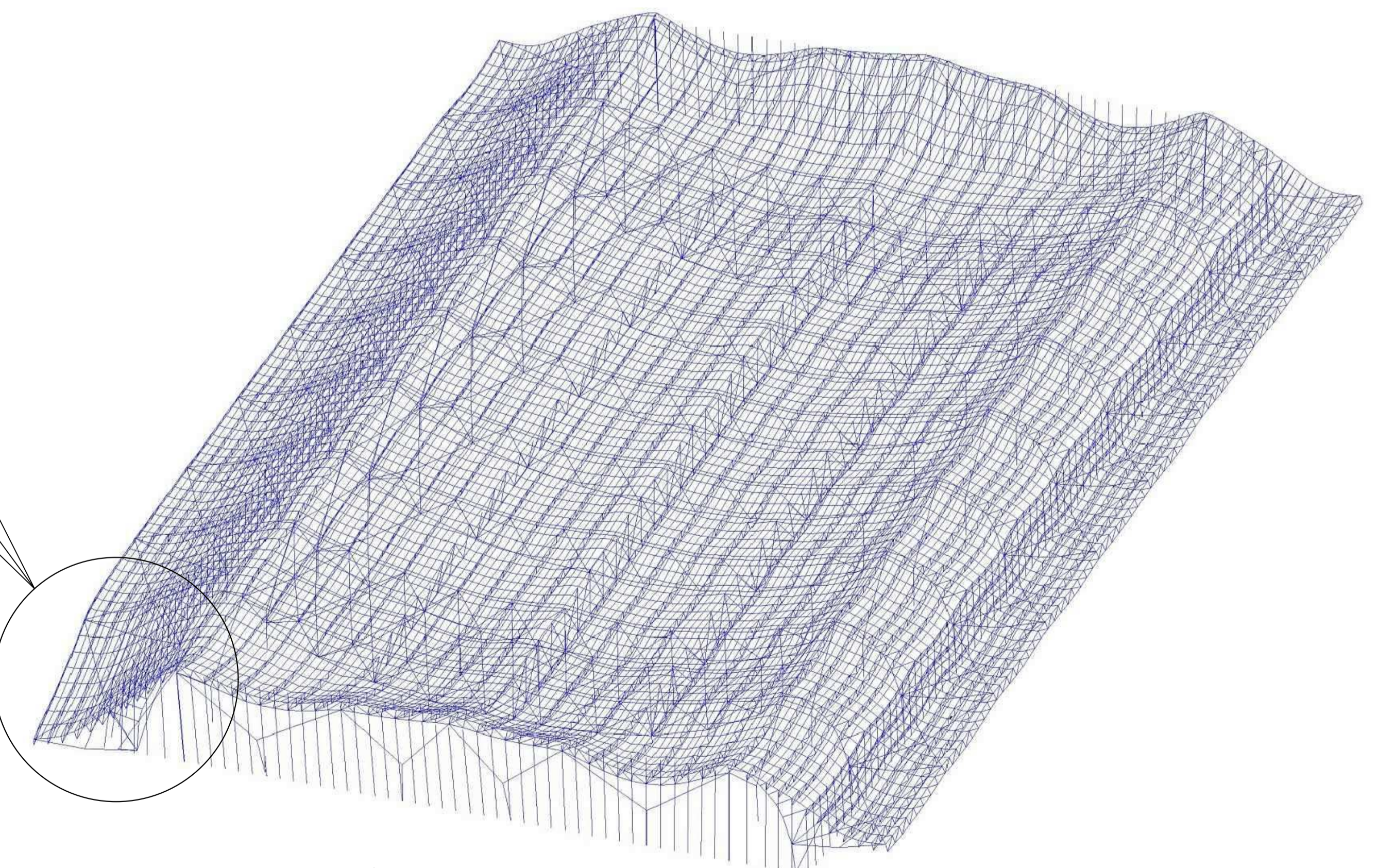
Критический фактор при локальном обрушении элемента угловой решетчатой стойки



Вертикальные перемещения



Деформированная схема каркаса



Максимальные вертикальные перемещения не превышают предельно допустимых значений (347,33 мм для пролета 104,2 м) и составляют 330,18 мм;

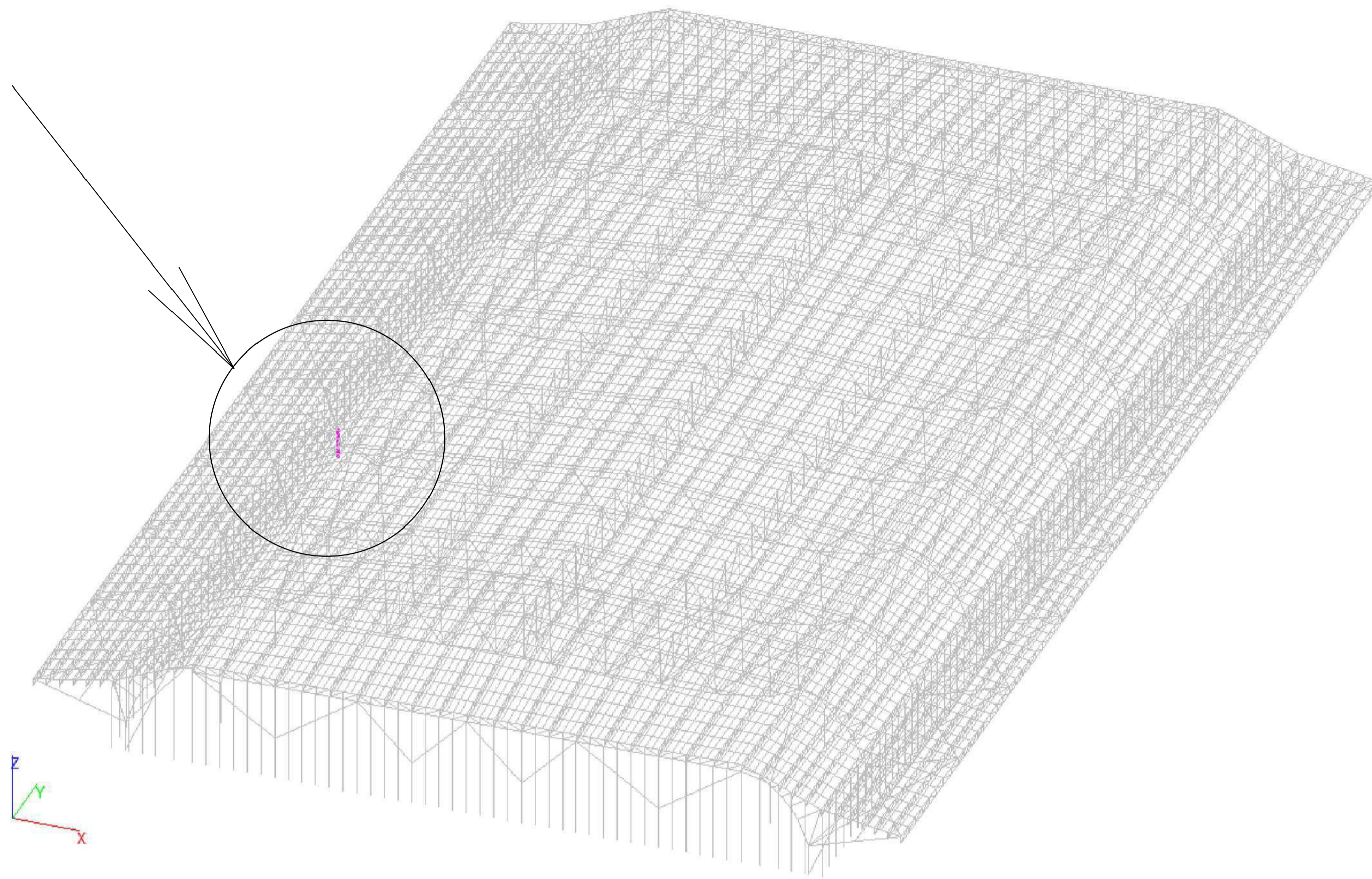
Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость – 96 шт., что составляет 0,32% от общего количества элементов.

Теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы прогонов и решетчатой стойки.

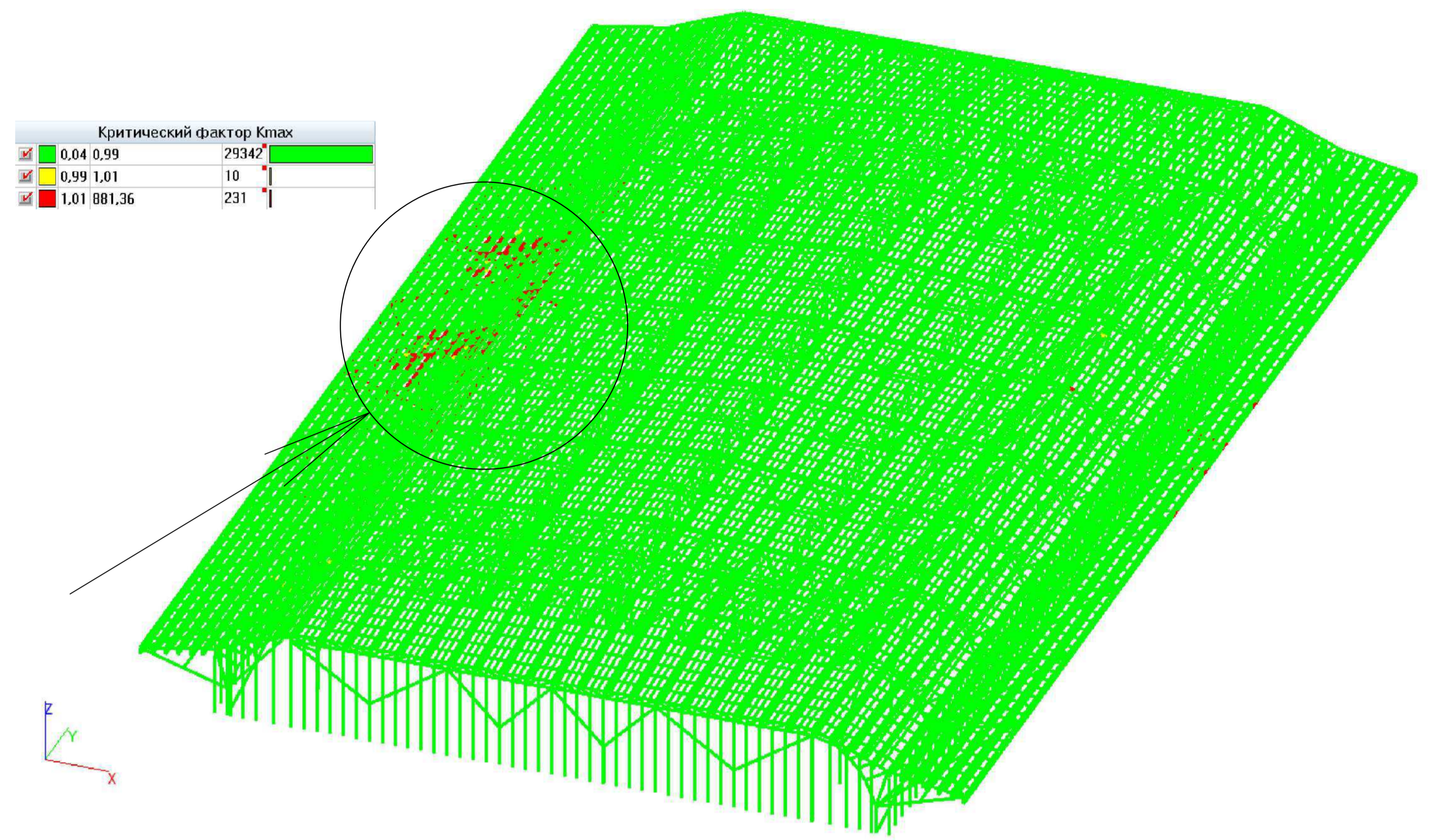
						ДР-08.05.01-2022 ТЧ			
						ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет"			
						Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Влияние особых на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра	Стандия	Лист	Листов
Разраб	Шарыгин С.С.						У	7	
Провер	Фроловская А.В.					Результаты расчета на прогрессирующее обрушение при начальном локальном обрушении элемента угловой решетчатой стойки	СКУС		
Н.контр.	Фроловская А.В.								
Заф.кафедры	Дворниев С.В.								

Согласовано  
Подп. и дата  
Взам. инв. №  
Инв. № подл.

Удаляемый элемент каркаса

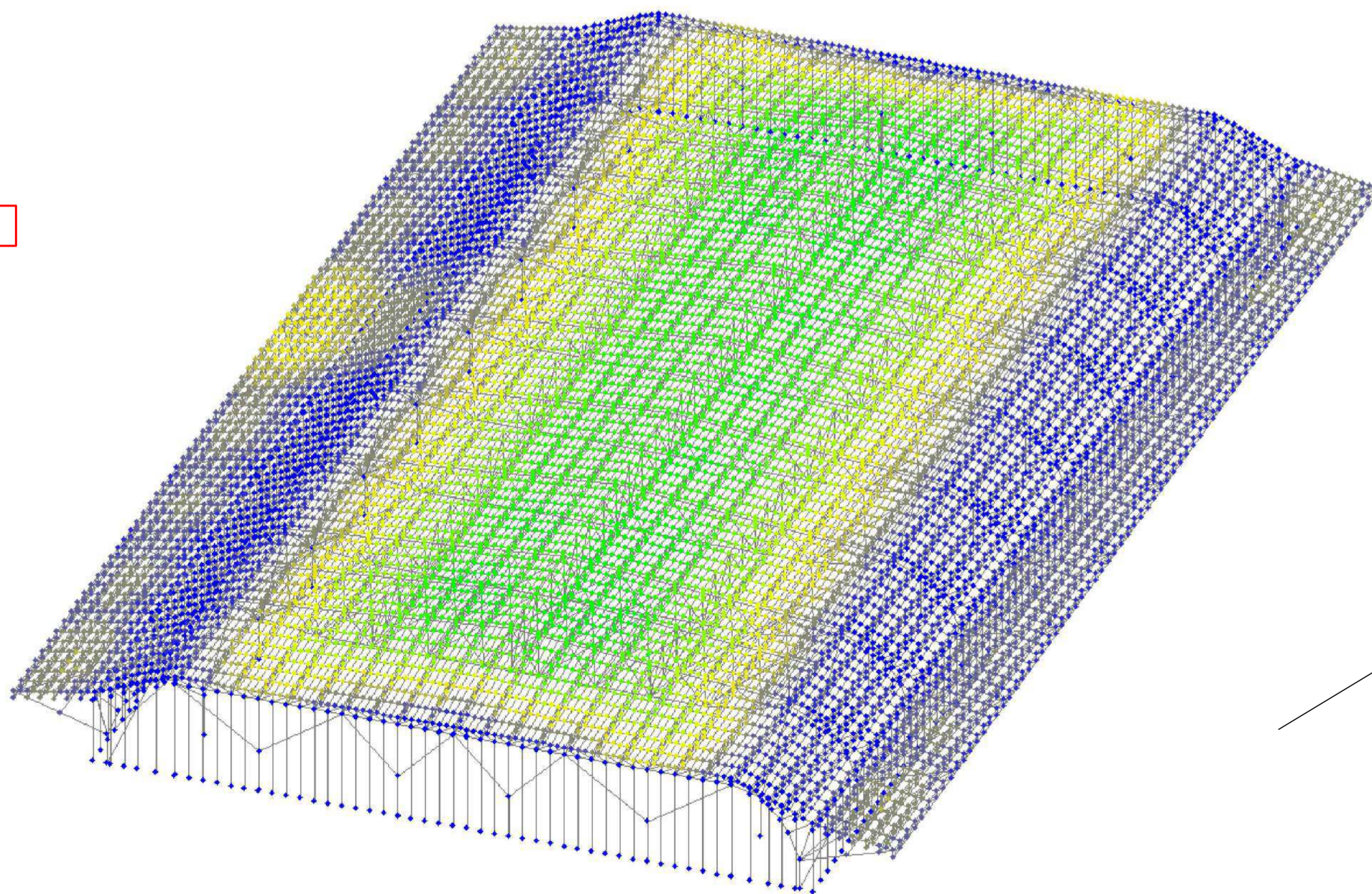


Критический фактор при локальном обрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки

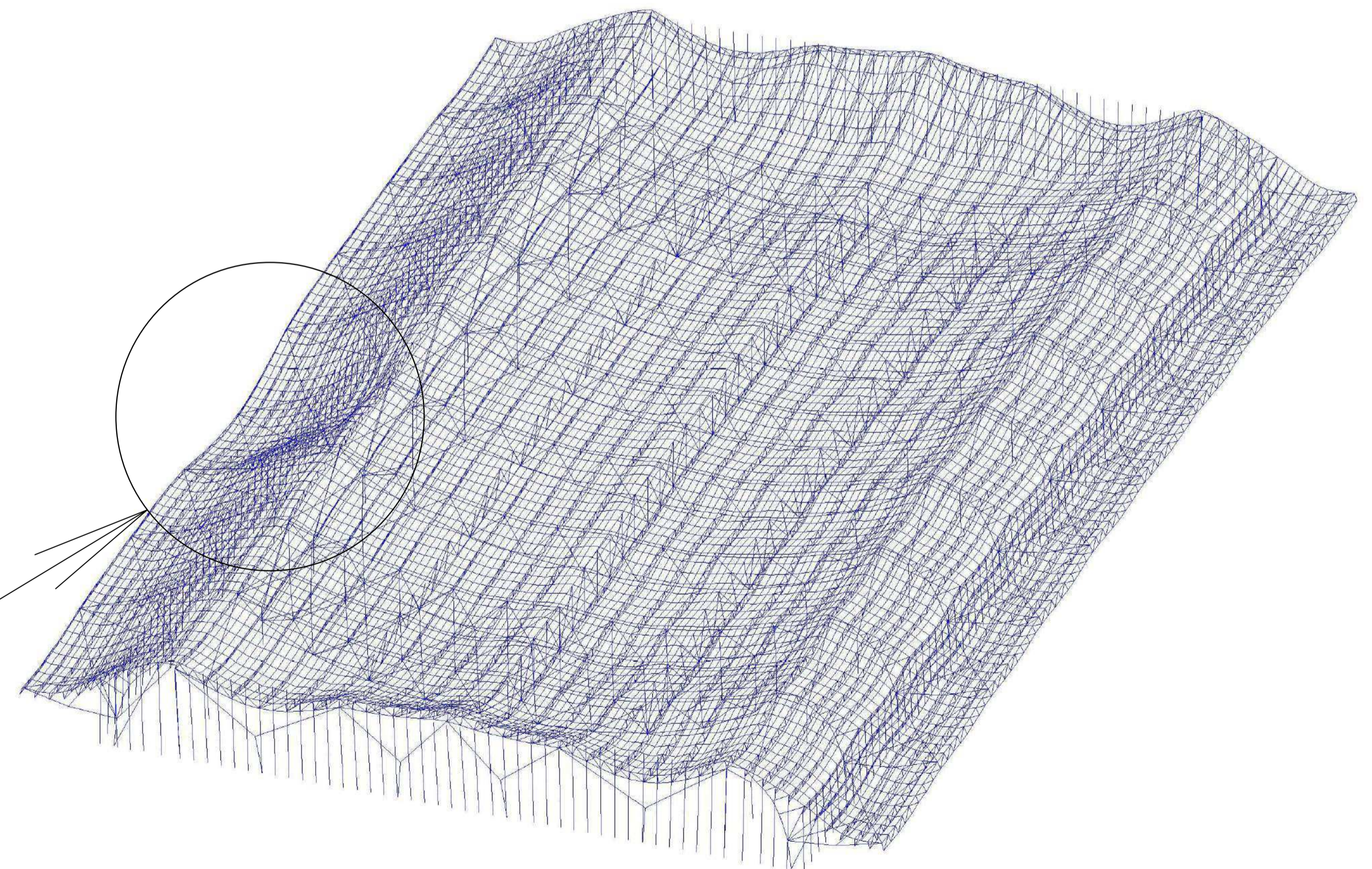


Вертикальные перемещения

Перемещения			
Z			
	мм	мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	-332,52	-303,44	680
<input checked="" type="checkbox"/>	-303,44	-274,37	1682
<input checked="" type="checkbox"/>	-274,37	-245,29	649
<input checked="" type="checkbox"/>	-245,29	-216,22	771
<input checked="" type="checkbox"/>	-216,22	-187,14	733
<input checked="" type="checkbox"/>	-187,14	-158,07	661
<input checked="" type="checkbox"/>	-158,07	-128,99	707
<input checked="" type="checkbox"/>	-128,99	-99,92	719
<input checked="" type="checkbox"/>	-99,92	-70,84	1247
<input checked="" type="checkbox"/>	-70,84	-41,76	1780
<input checked="" type="checkbox"/>	-41,76	-12,69	2065
<input checked="" type="checkbox"/>	-12,69	16,39	1894



Деформированная схема каркаса

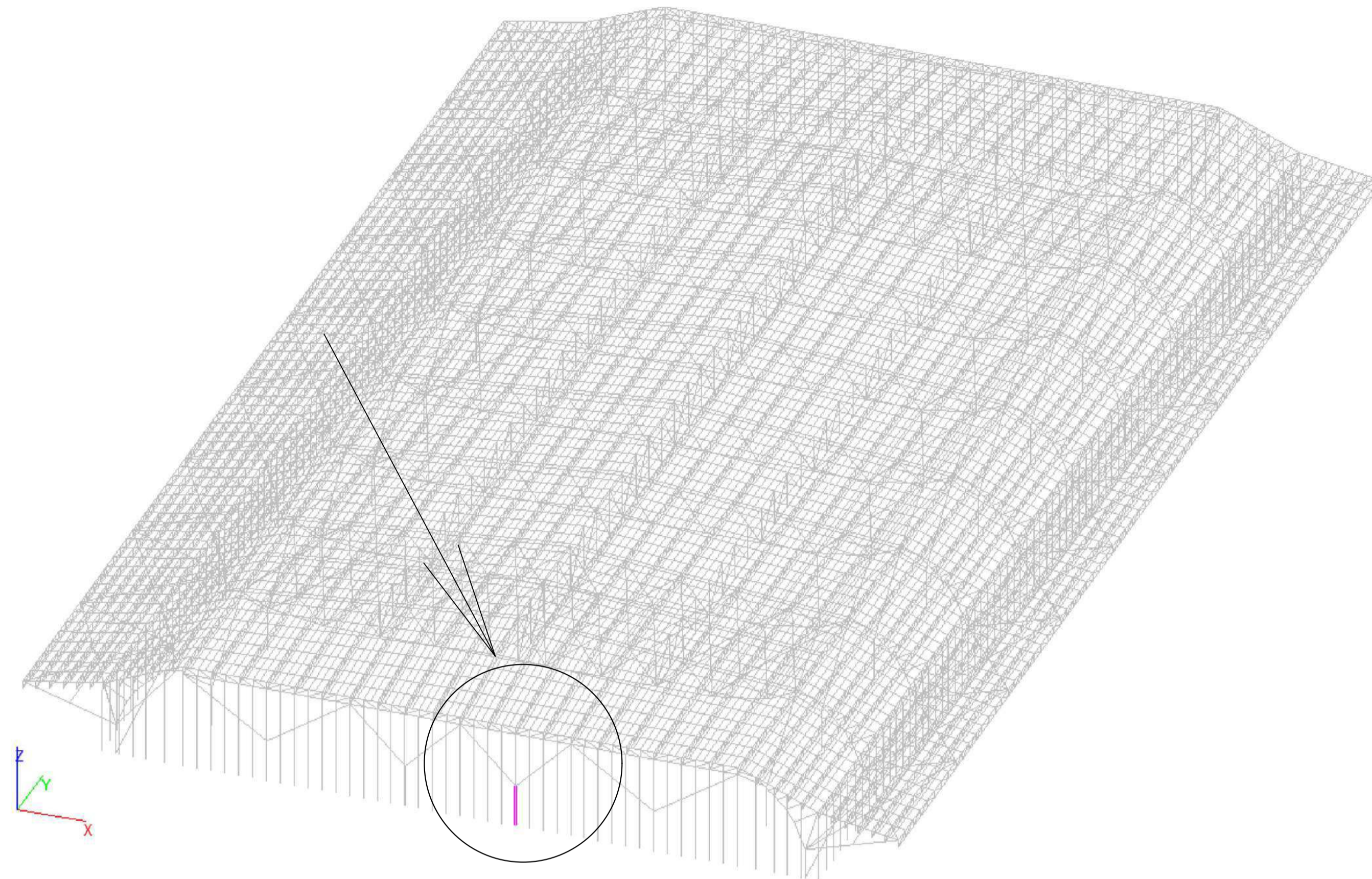


Максимальные вертикальные перемещения не превышают предельно допустимых значений и составляют 332,52 мм;

Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость – 231 шт., что составляет 0,78% от общего количества элементов. Теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы прогонов и решетчатых стоек, расположенных по обе стороны от удаляемого элемента.

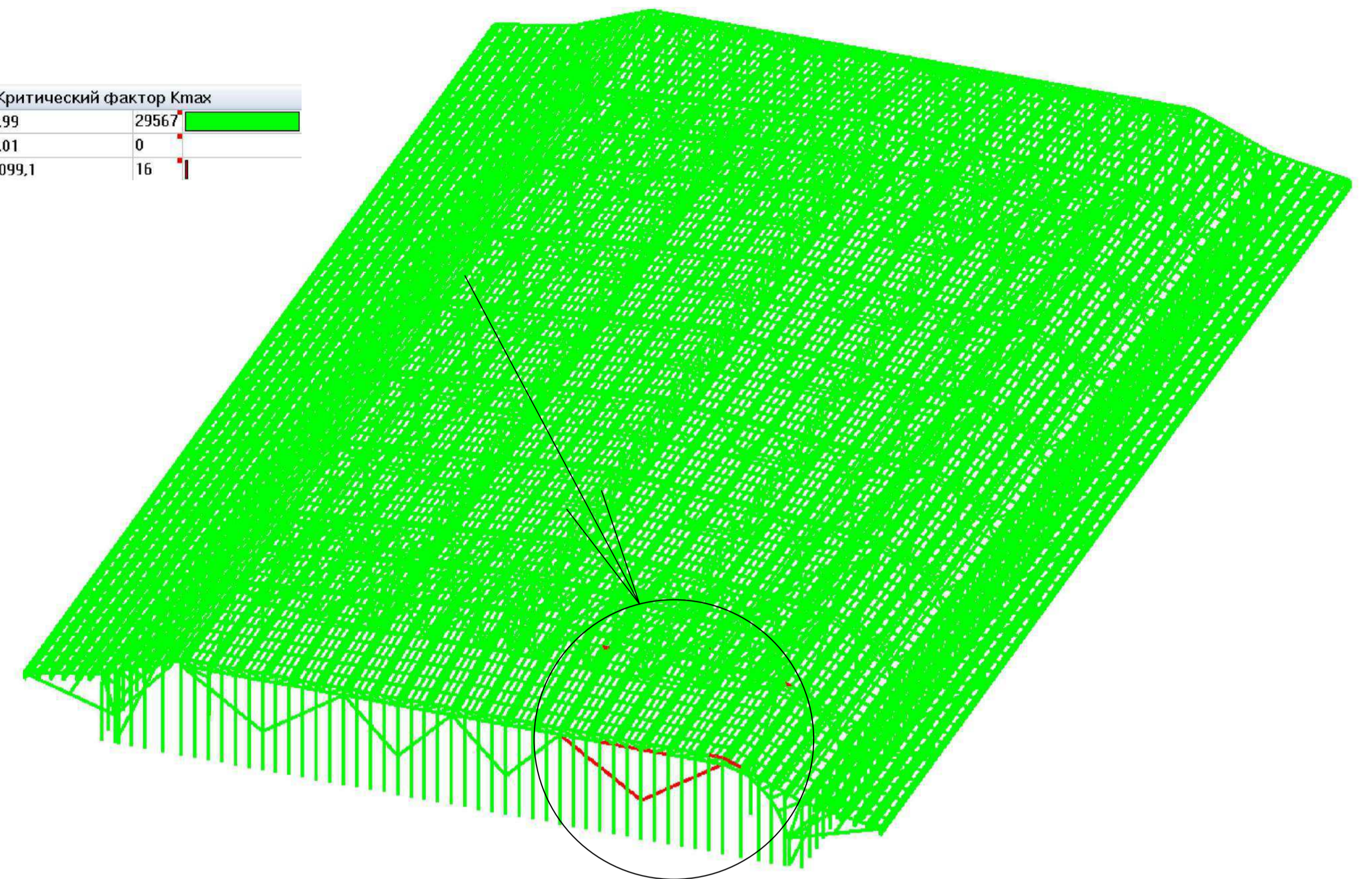
						ДР-08.05.01-2022 ТЧ			
						ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"			
						Инженерно-строительный институт			
Изм.	Код. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Влияние особых на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра	Стандия	Лист	Листов
Разраб.	Шаршин С.С.						У	8	
Провер.	Фроловская А.В.					Результаты расчета на прогрессирующее обрушение при начальном локальном разрушении элемента самой нагруженной решетчатой стойки	СКУС		
Н. контр.	Фроловская А.В.								
Заф. кафедры	Дворниев С.В.								

Удаляемый элемент каркаса



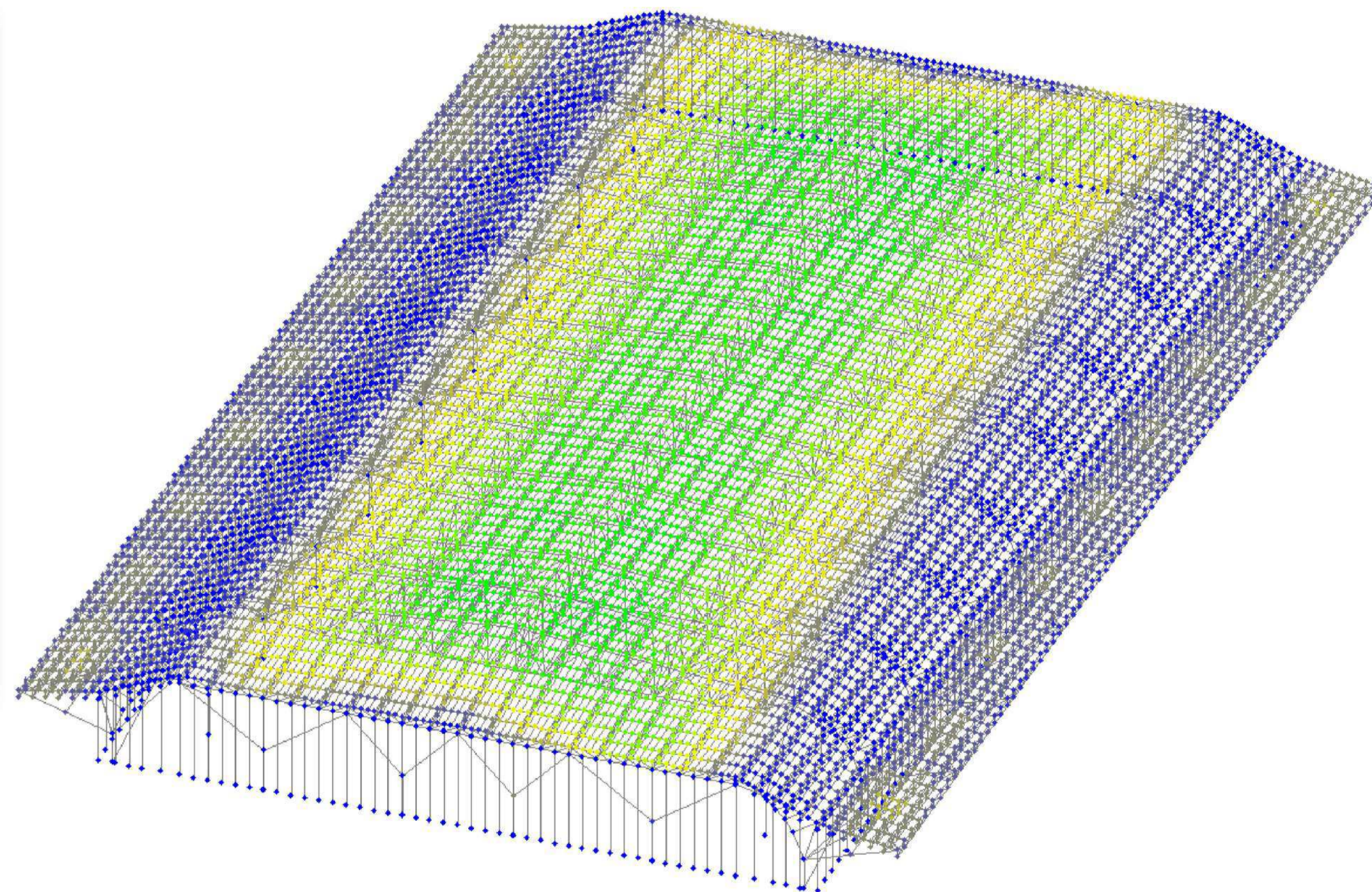
Критический фактор при локальном обрушении элемента колонны-связи

Критический фактор K <sub>лax</sub>		
0.04	0.99	29567
0.99	1.01	0
1.01	1099.1	16

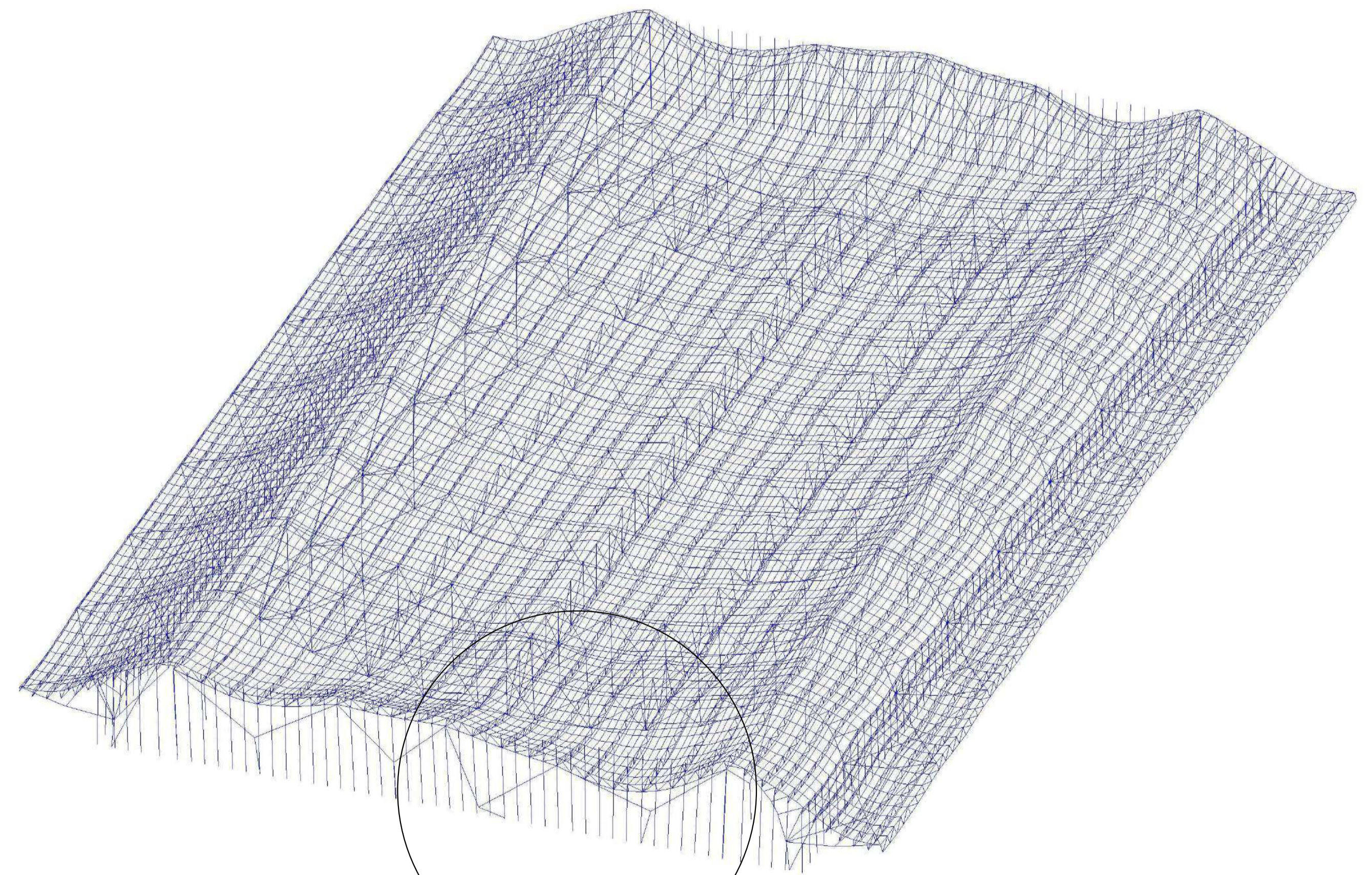


Вертикальные перемещения

Перемещения			
Z			
	мм	мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	-337.06	-307.25	497
<input checked="" type="checkbox"/>	-307.25	-277.43	1801
<input checked="" type="checkbox"/>	-277.43	-247.61	742
<input checked="" type="checkbox"/>	-247.61	-217.8	784
<input checked="" type="checkbox"/>	-217.8	-187.98	753
<input checked="" type="checkbox"/>	-187.98	-158.16	668
<input checked="" type="checkbox"/>	-158.16	-128.34	579
<input checked="" type="checkbox"/>	-128.34	-98.53	646
<input checked="" type="checkbox"/>	-98.53	-68.71	1172
<input checked="" type="checkbox"/>	-68.71	-38.89	1937
<input checked="" type="checkbox"/>	-38.89	-9.08	2478
<input checked="" type="checkbox"/>	-9.08	20.74	1531



Деформированная схема каркаса



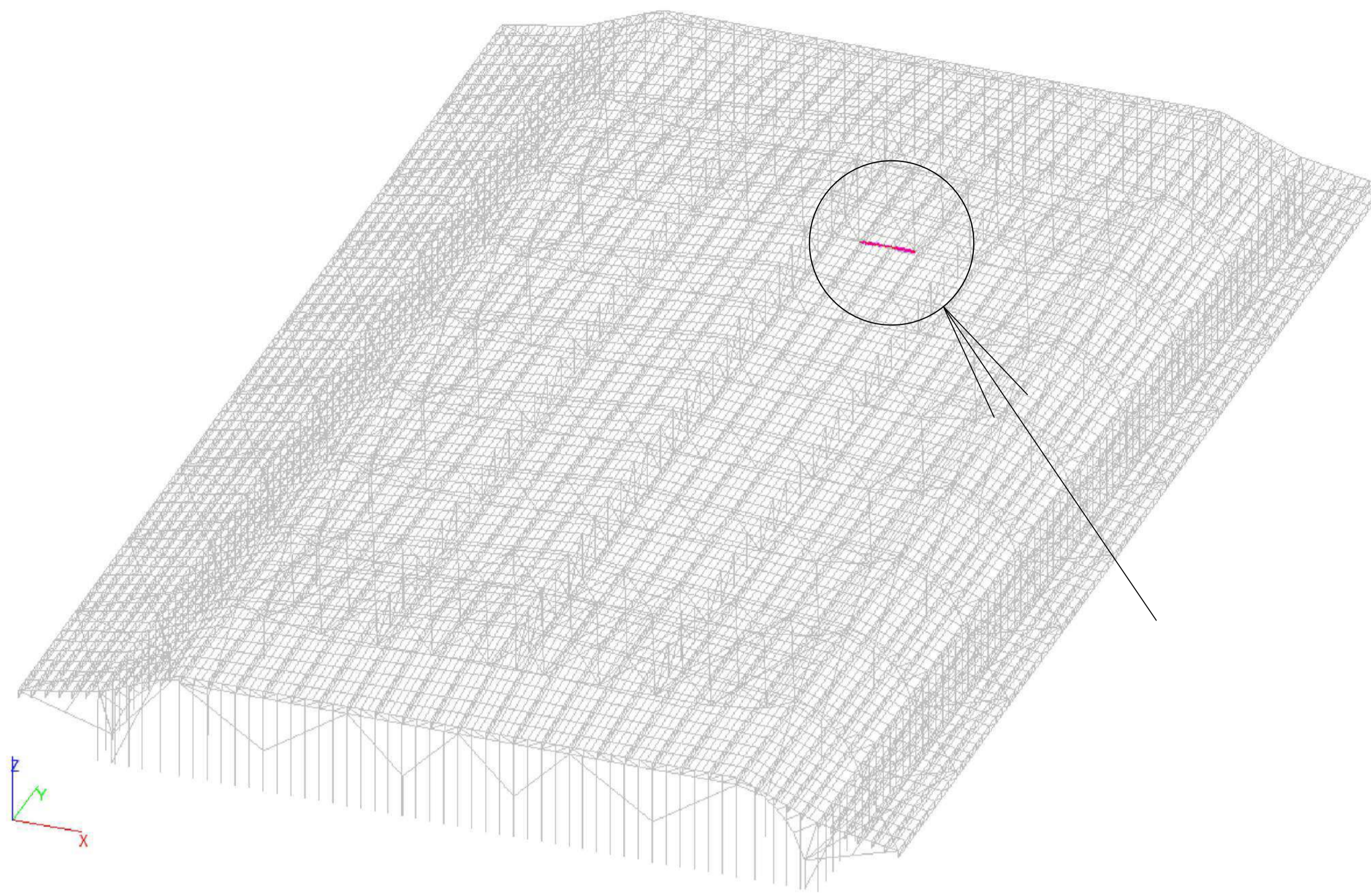
Максимальные вертикальные перемещения не превышают предельно допустимых значений и составляют 337,06 мм;

Количество элементов, вышедших из строя – 16 шт., что составляет 0,05% от общего количества элементов. Теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы колонны-связи, а также элементы фермы пролетом 31,3 метра, находящейся над удаляемым элементом.

ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.		Шарыгин С.С.			
Провер.		Фроловская А.В.			
Влияние осадок на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра					
Результаты расчета на прогрессирующее обрушение при начальном локальном разрушении элемента колонны-связи					
Н. контр.		Фроловская А.В.			
Заф. кафедры		Дворниев С.В.			
Стадия	Ч	Лист	9	Листов	
					СКУС

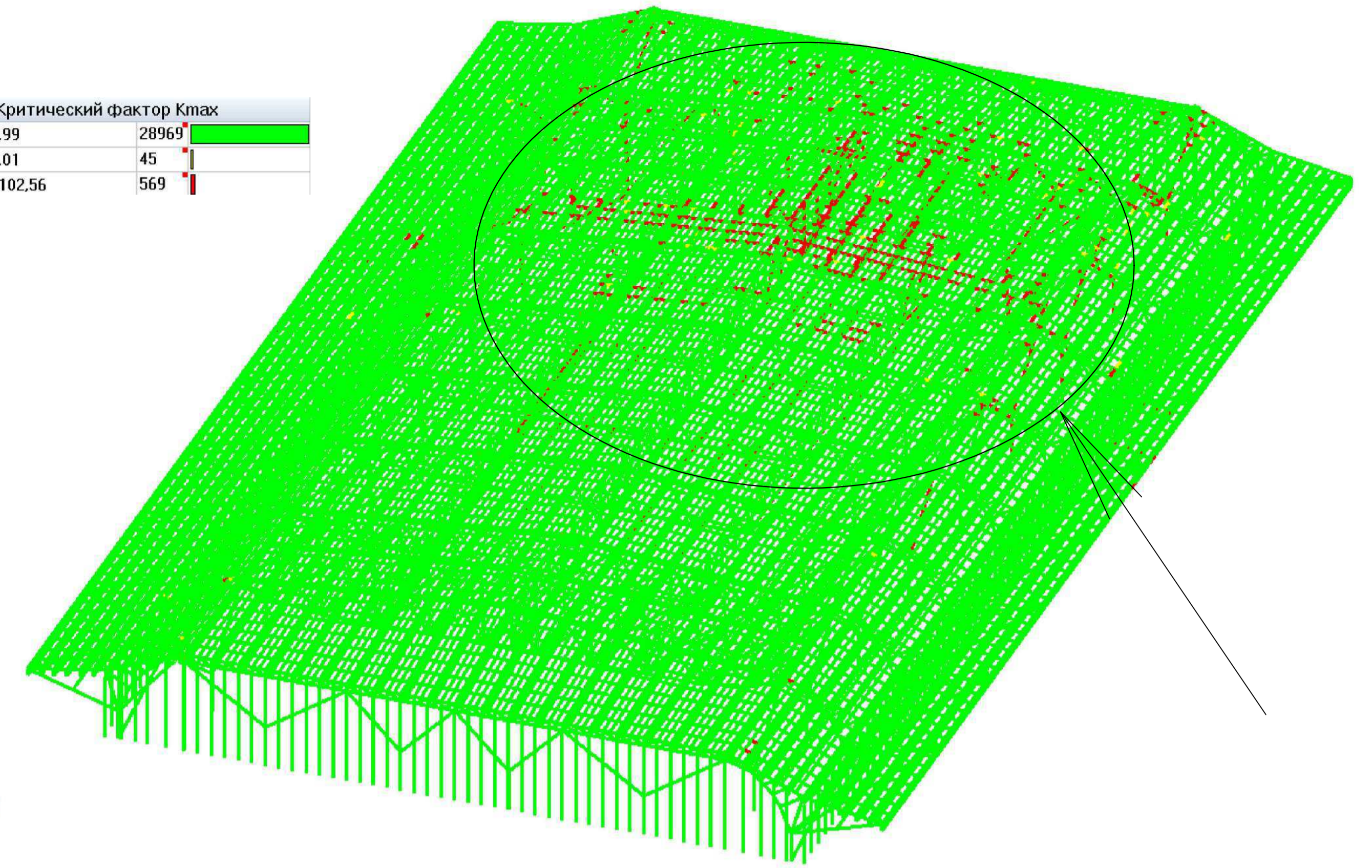


Удаляемый элемент каркаса



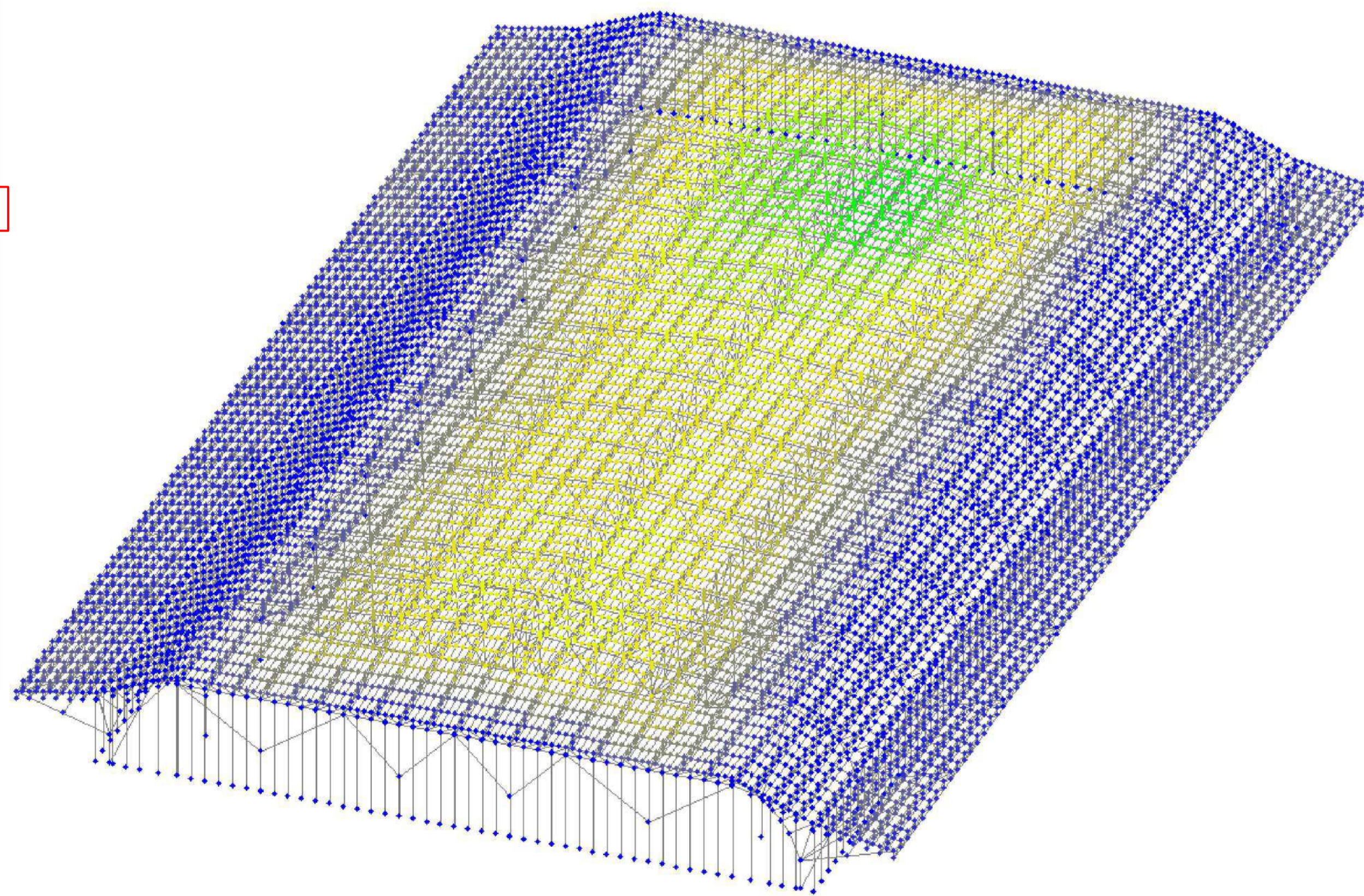
Критический фактор при локальном обрушении элемента нижнего пояса фермы

Критический фактор Kmax		
0,04	0,99	28969
0,99	1,01	45
1,01	1102,56	569

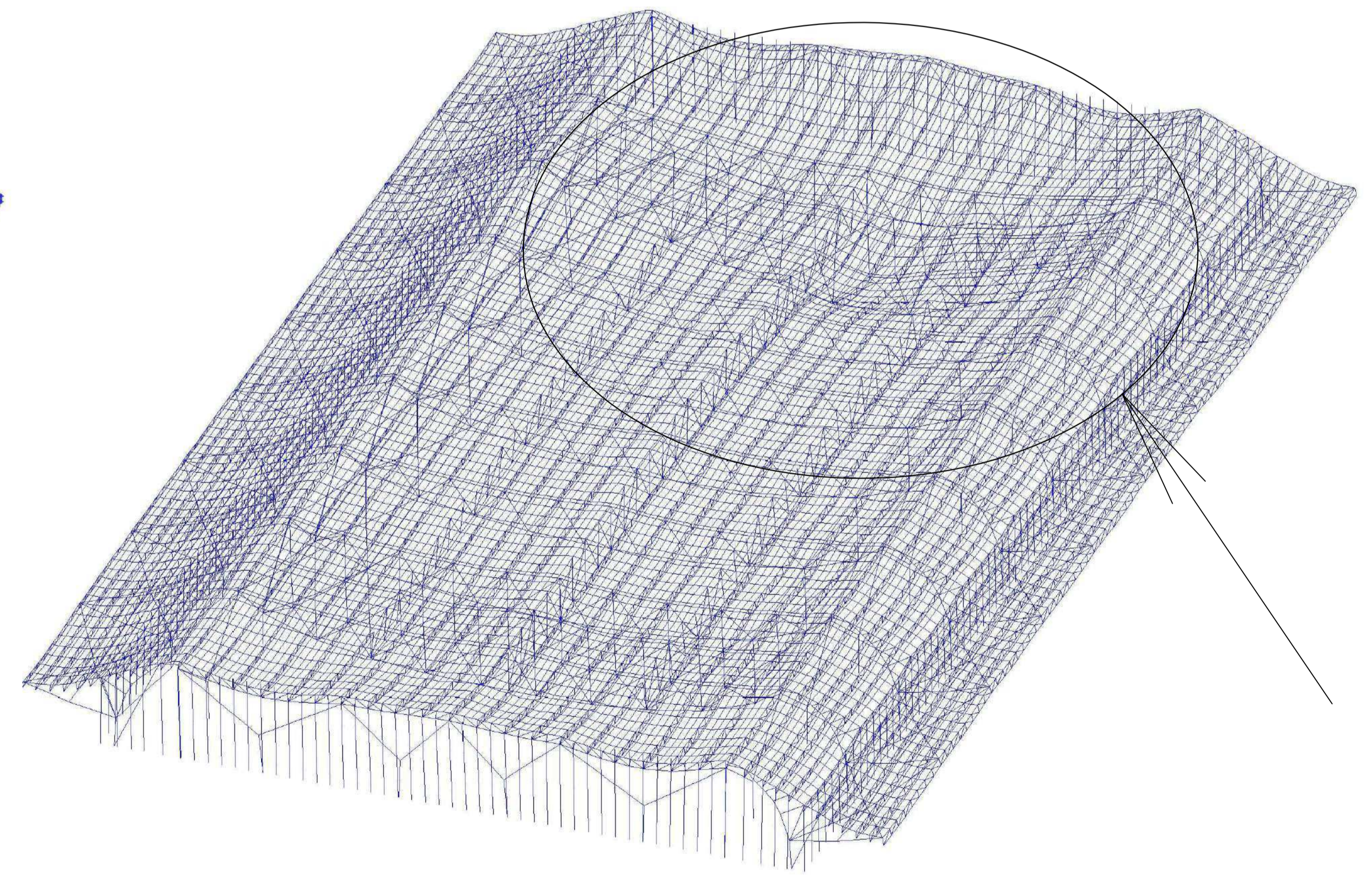


Вертикальные перемещения

Перемещения		
Z		
мм	мм	мм
618,81	-565,27	83
565,27	-511,72	90
511,72	-458,18	192
458,18	-404,63	258
404,63	-351,09	411
351,09	-297,55	1075
297,55	-244	1548
244	-190,46	1154
190,46	-136,91	1009
136,91	-83,37	1382
83,37	-29,82	2910
29,82	23,72	3476



Деформированная схема каркаса

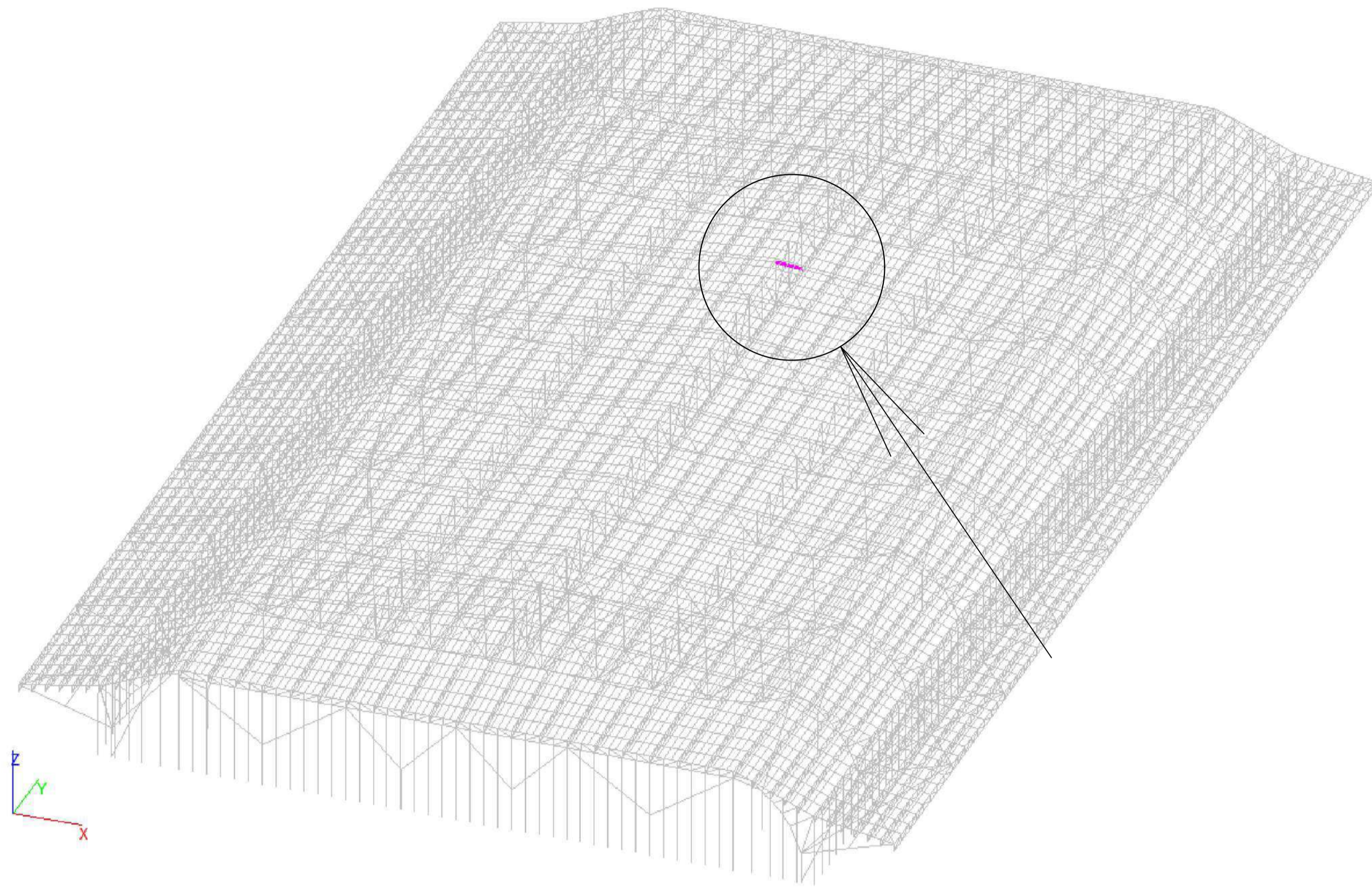


Максимальные вертикальные перемещения составляют 618,81 мм; Предельно допустимые вертикальные перемещения при условиях нормальной эксплуатации составляют 347,33 мм, в то же время для особого предельного состояния вертикальные перемещения не должны превышать 1/50 длины пролета ( $104200/50=2084$  мм). Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость – 569 шт., что составляет 1,92% от общего количества элементов. Теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы вертикальной связевой фермы, колонн-связей, а также большое количество элементов прогонов.

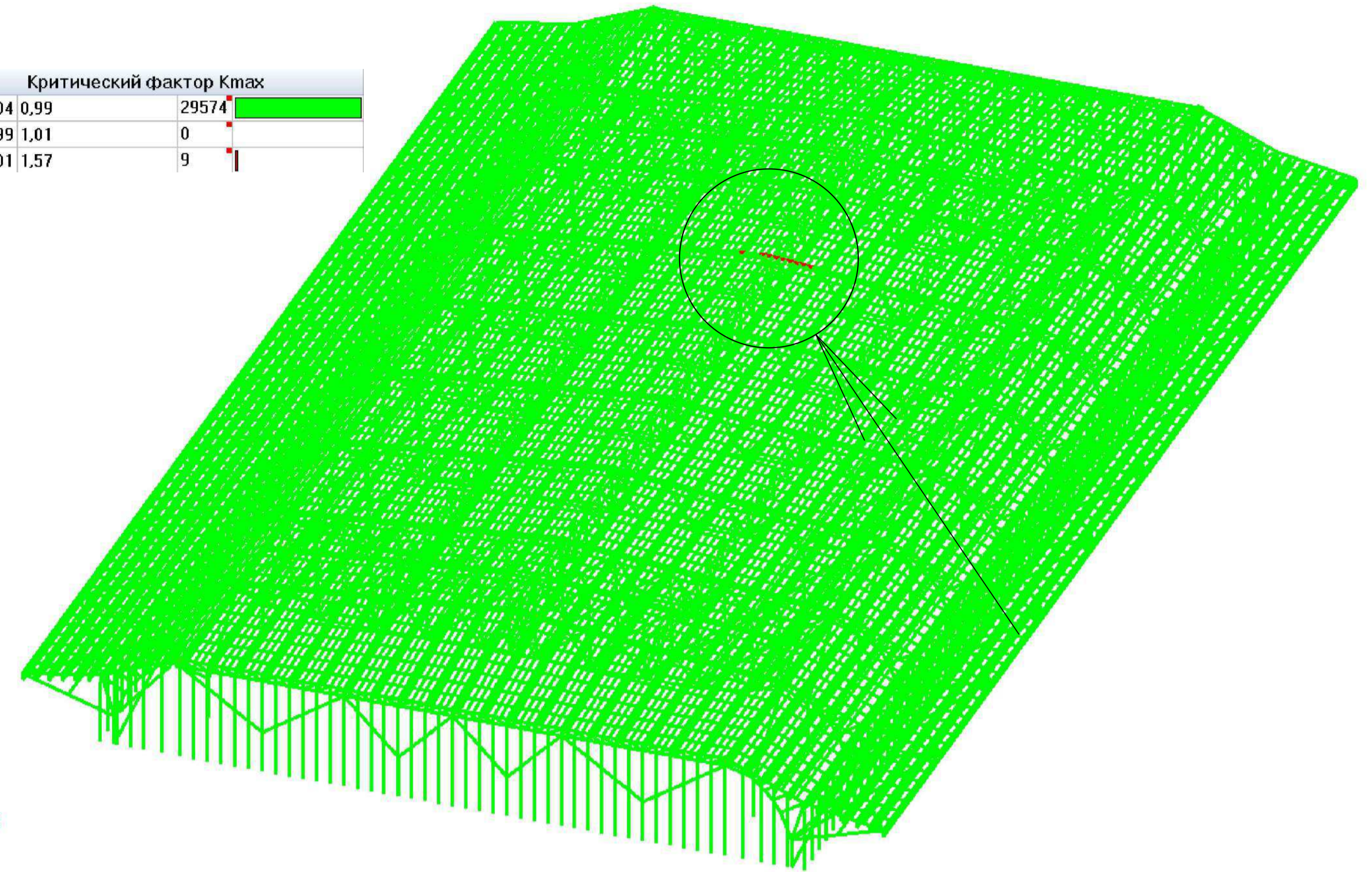
ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Шаршун С.С.				
Провер.	Фроловская А.В.				
Влияние особых на грузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра				Стандия	Лист
				У	10
Н. контр.				Фроловская А.В.	
Заф. кафедры				Георгиев С.В.	
Результаты расчета на прогрессирующее обрушение при начальном локальном разрушении элемента нижнего пояса фермы				СКУС	

Удаляемый элемент каркаса

Критический фактор при локальном обрушении элемента верхнего пояса фермы



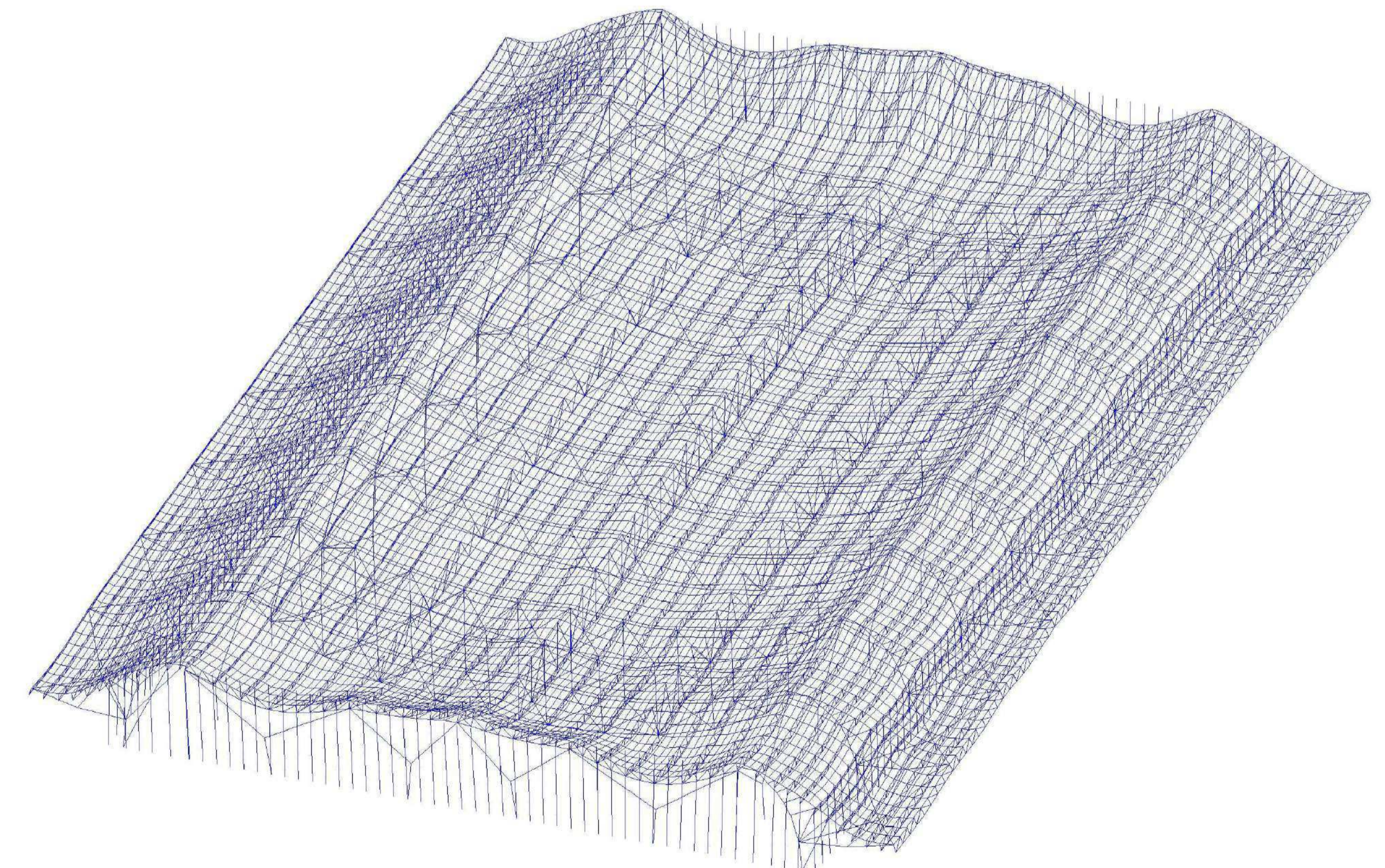
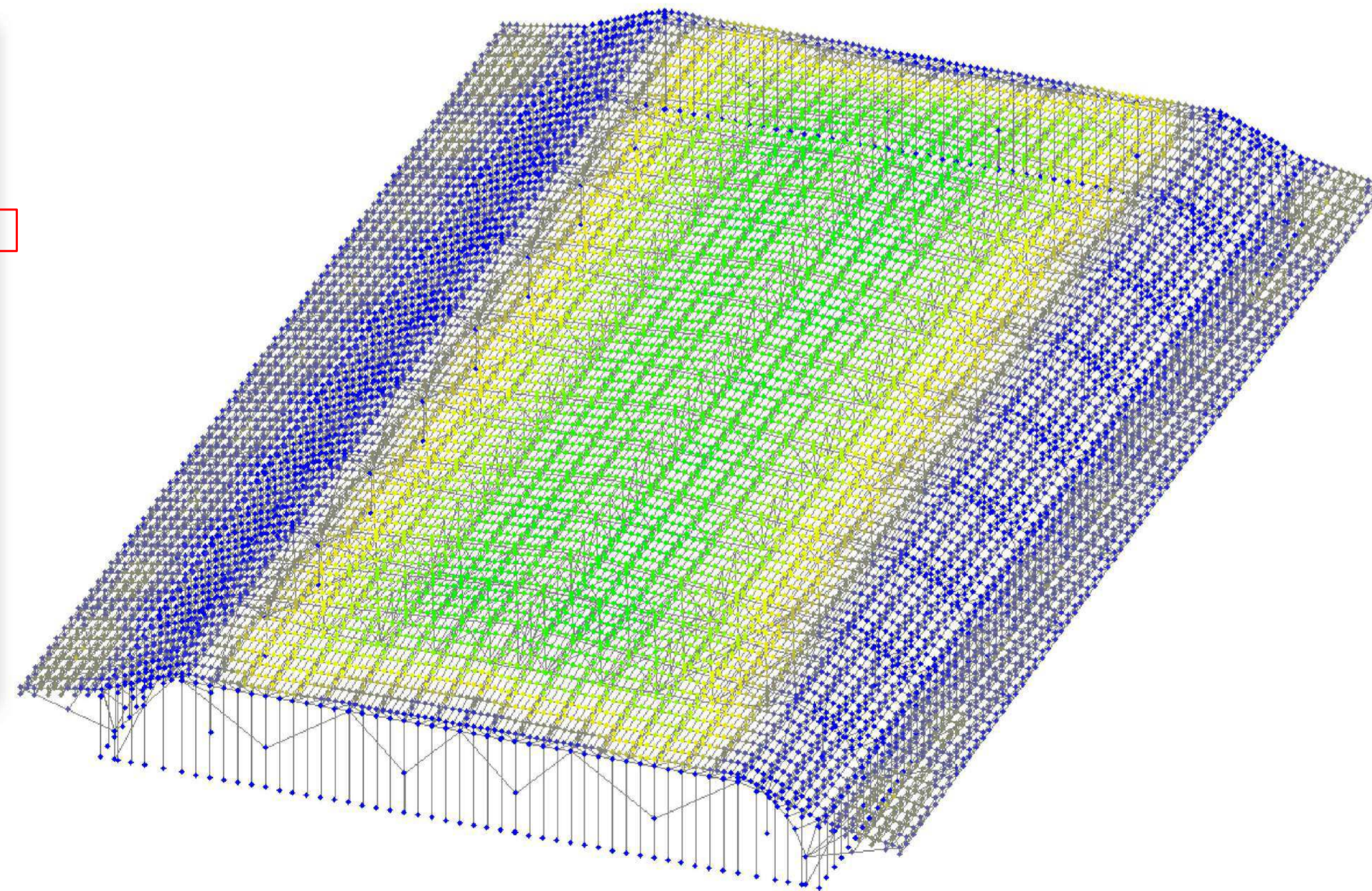
Критический фактор Kmax		
0,04	0,99	29574
0,99	1,01	0
1,01	1,57	9



Вертикальные перемещения

Деформированная схема каркаса

Перемещения			
Z			
	мм	мм	
✓	-333,85	-304,66	685
✓	-304,66	-275,48	1664
✓	-275,48	-246,29	654
✓	-246,29	-217,11	766
✓	-217,11	-187,92	734
✓	-187,92	-158,73	671
✓	-158,73	-129,55	593
✓	-129,55	-100,36	603
✓	-100,36	-71,18	1040
✓	-71,18	-41,99	1986
✓	-41,99	-12,8	2205
✓	-12,8	16,38	1987



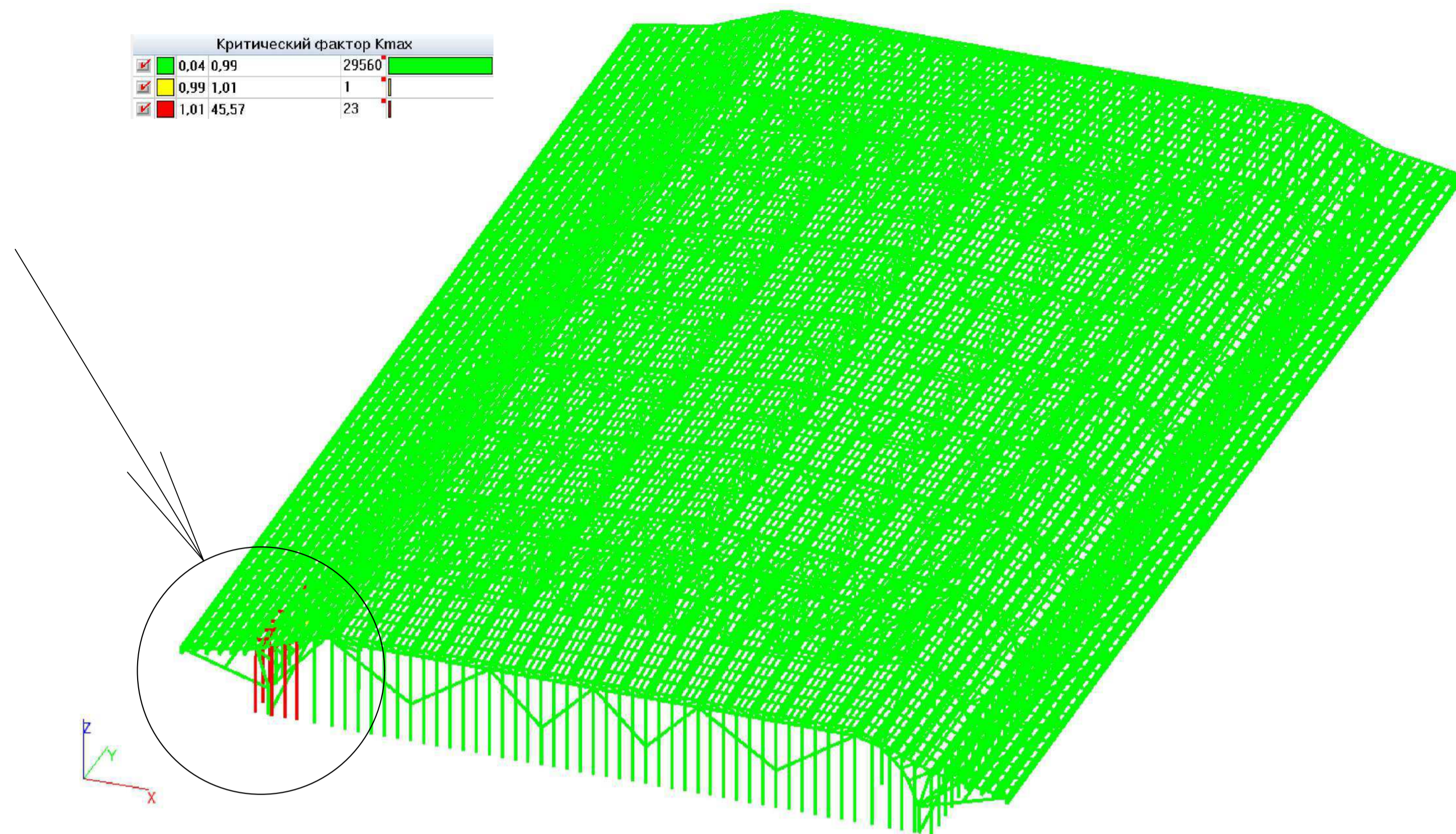
Максимальные вертикальные перемещения не превышают предельно допустимых значений и составляют 333,85 мм;

Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость - 9 шт. Теряют несущую способность/устойчивость элементы обрешетки, находящиеся над удаляемым элементом.

						ДР-08.05.01-2022 ТЧ			
						ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет"			
						Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра	Стандия	Лист	Листов
Разраб.							У	11	
Провер.						Результаты расчетов на прогрессирующее обрушение при начальном локальном разрушении элемента верхнего пояса фермы	СКУС		
Н. контр.									
Заф. кафедры									

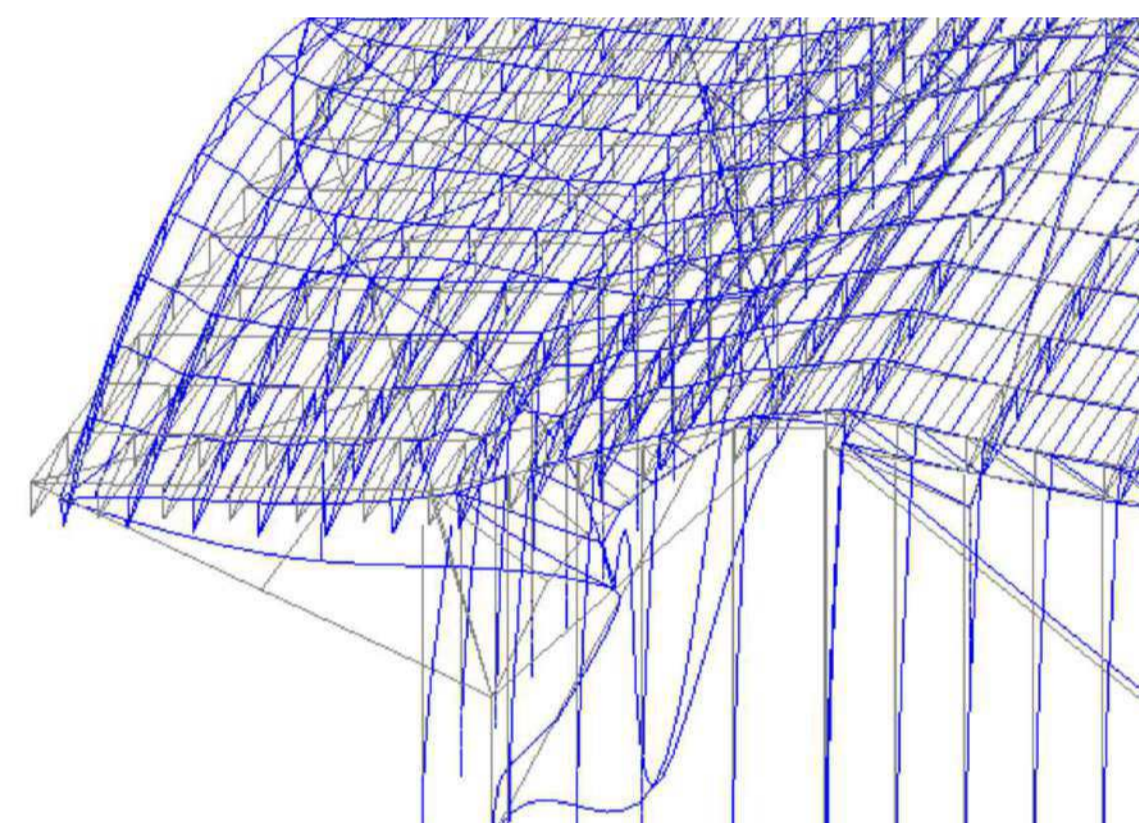
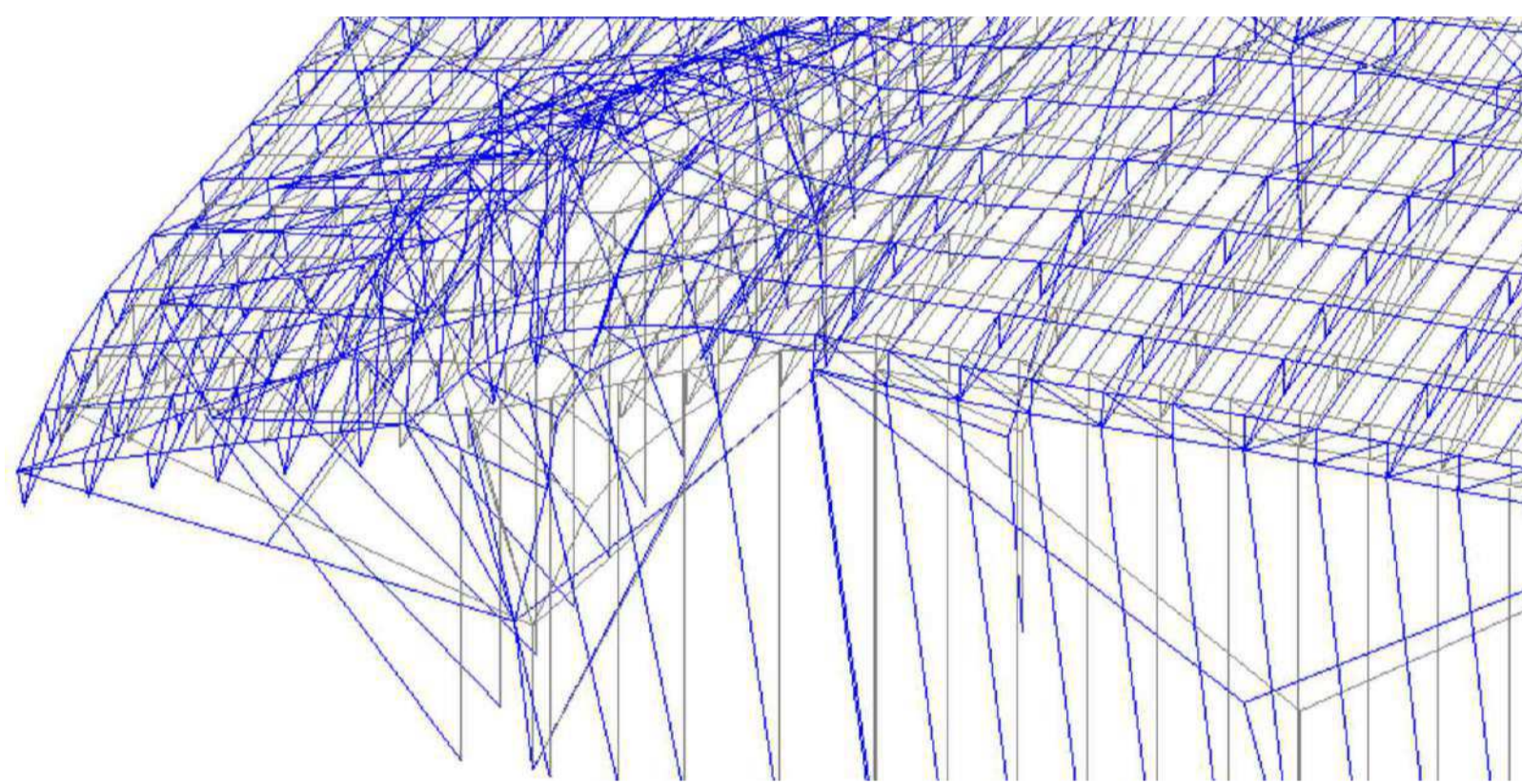
Критический фактор при внутреннем взрыве

Критический фактор Kmax		
0,04	0,99	29560
0,99	1,01	1
1,01	45,57	23



Деформированная схема от внутреннего взрыва

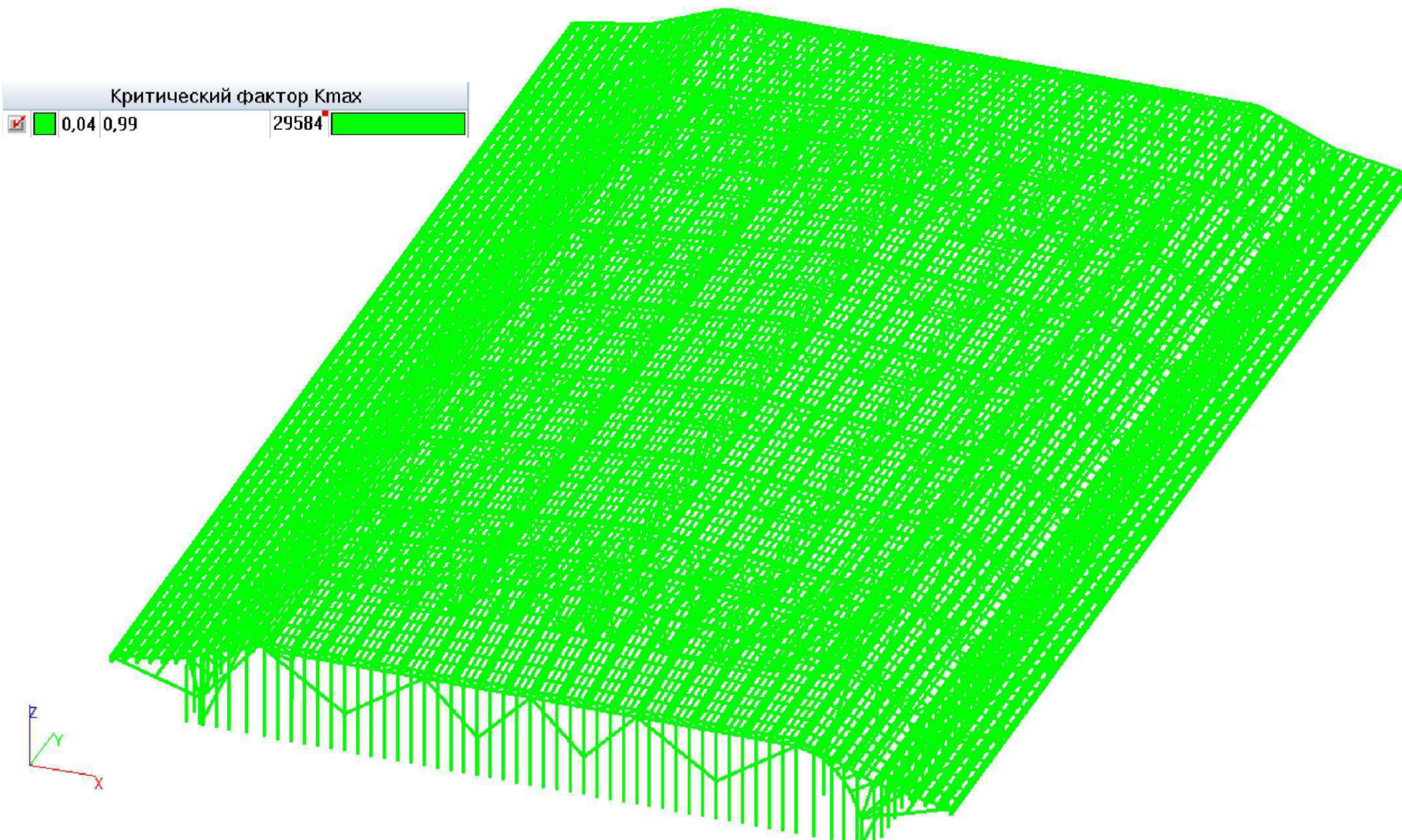
Деформированная схема от удара в решетчатую стойку



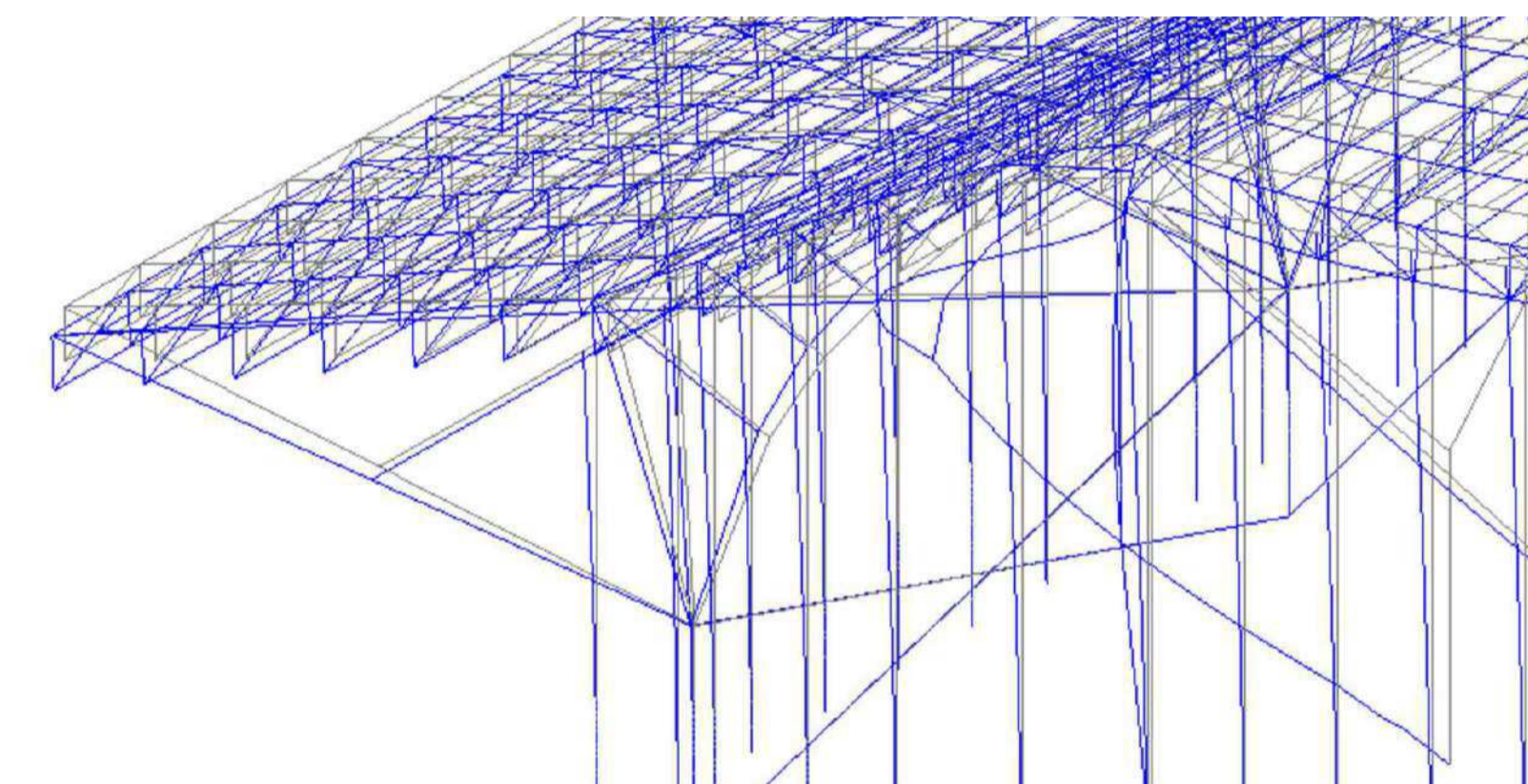
Сопоставление результатов расчета на особые виды нагрузок

Критический фактор при ударе грузового автотранспорта

Критический фактор Kmax		
0,04	0,99	29584



Деформированная схема от удара в колонну-связь



Максимальные вертикальные перемещения от взрыва

Z <sub>min</sub>	мм	мм	мм
-332,55	-311,25	366	
-311,25	-289,96	1332	

Максимальные вертикальные перемещения от удара

Z <sub>min</sub>	мм	мм	мм
-332,55	-311,25	366	
-311,25	-289,96	1332	

Максимальные вертикальные перемещения при ударном и взрывном воздействии не превышают предельно допустимых.

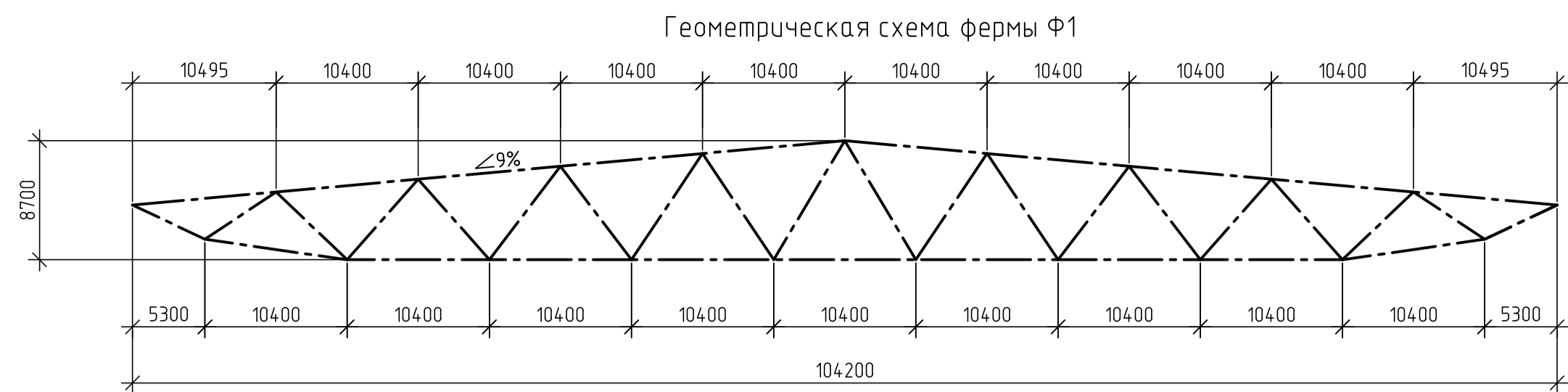
При внутреннем взрыве теряют несущую способность/устойчивость в основном стойки фахверка, при ударе автотранспорта все элементы каркаса остаются в работающем состоянии.

Сопоставляя результаты расчетов каркаса на особые виды нагрузок видно, что самой неблагоприятной ситуацией является начальное локальное разрушение нижнего пояса фермы.

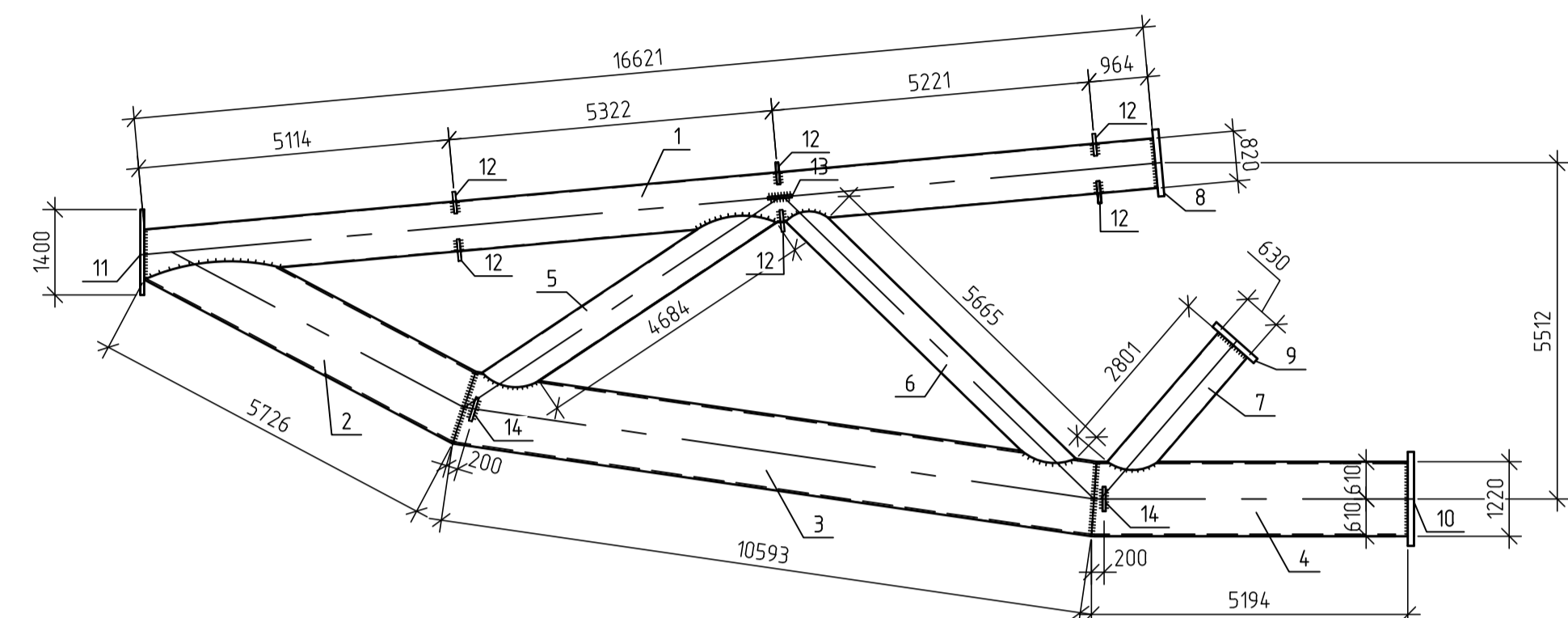
Остальные случаи особых воздействий показали менее опасный характер.

Вид особой нагрузки		Критический фактор Kmax (количество элементов, попадающих в интервал)			Максимальное вертикальное перемещение, мм	Предельное вертикальное перемещение, мм	Предельное вертикальное перемещение для особого предельного состояния, мм
		<0,99	0,99-1,01	>1,01			
Прогрессирующее обрушение	Элемент угловой решетчатой стойки	29485	2	96	-330,18	347,33	2084
	Элемент самой нагруженной решетчатой стойки	29342	10	231	-332,52		
	Элемент колонны-связи	29567	0	16	-337,06		
	Элемент нижнего пояса фермы	<b>28969</b>	<b>45</b>	<b>569</b>	<b>-618,81</b>		
	Элемент верхнего пояса фермы	29574	0	9	-333,85		
Удар автотранспортного средства		29584	0	0	-332,55		
Внутренний взрыв		29560	1	23	-332,55		

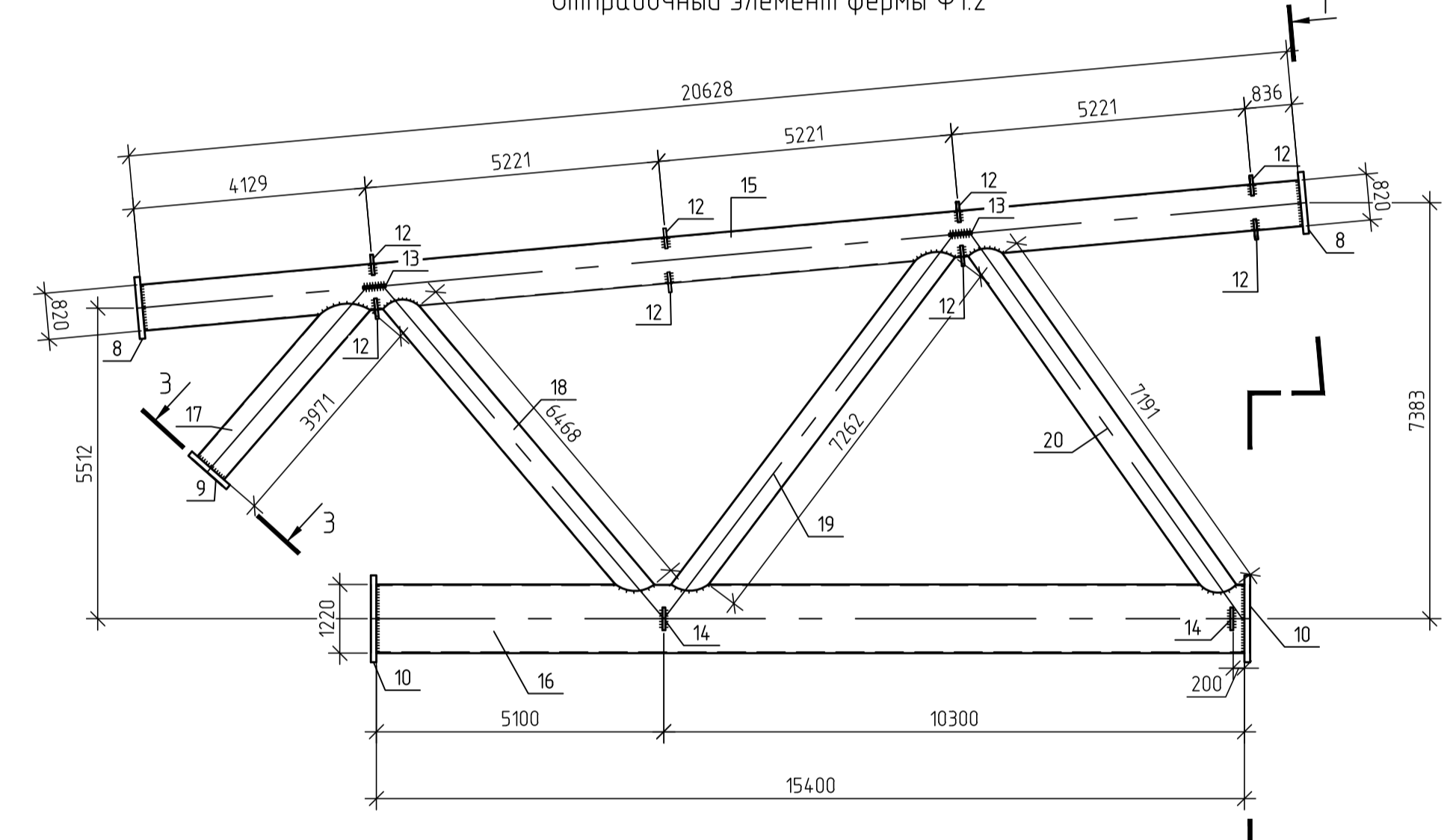
ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОУ ВО "Сибирский Федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Шаршин С.С.				
Провер.	Фроловская А.В.				
Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра				Страница	Лист
				4	12
Результаты расчета на внутренний взрыв и удар автотранспортного средства, сопоставление результатов расчета на особые виды нагрузок				СКУС	
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Заф. кафедры	Георгиев С.В.				



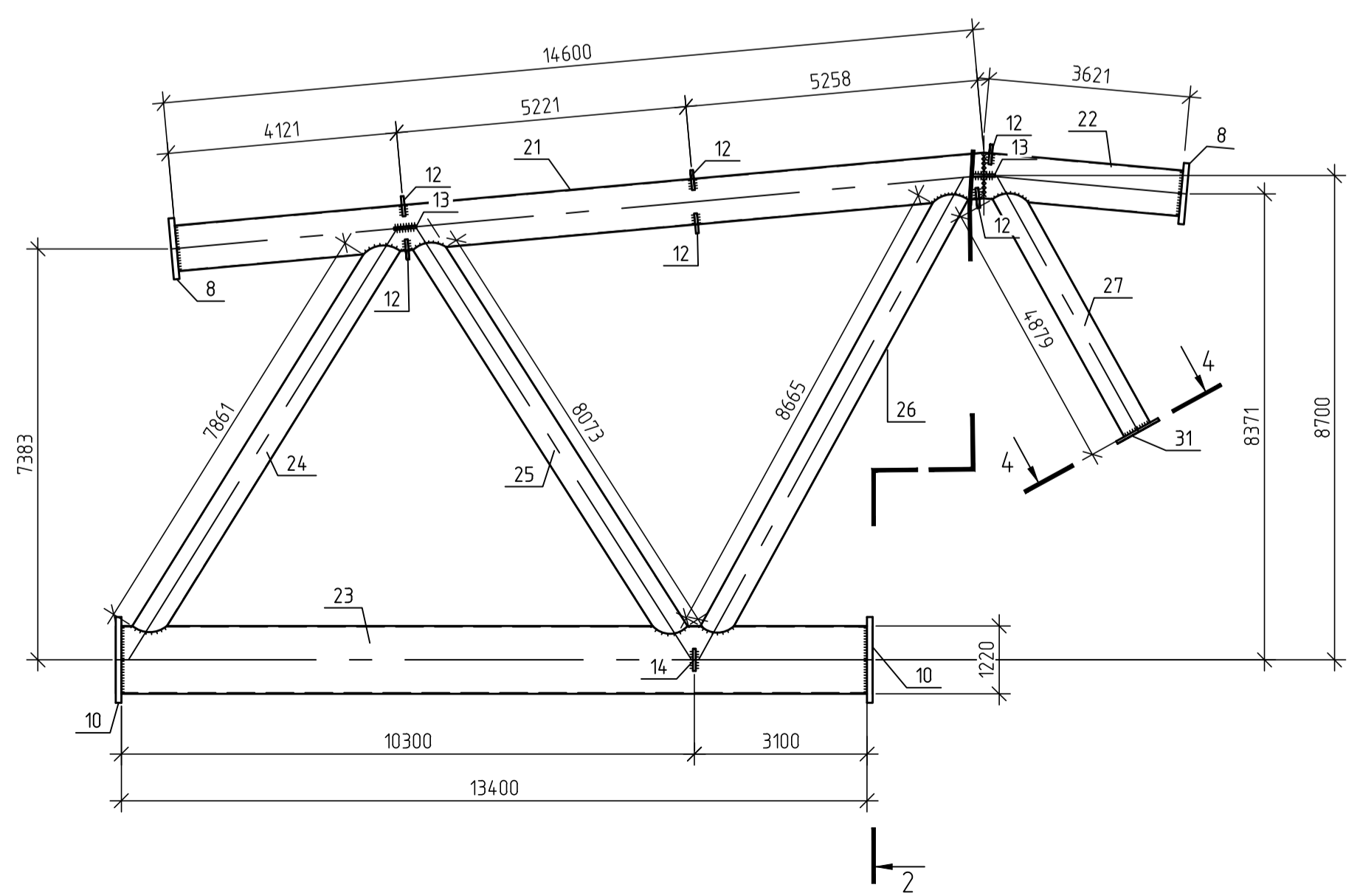
Отправочный элемент фермы Ф1.1



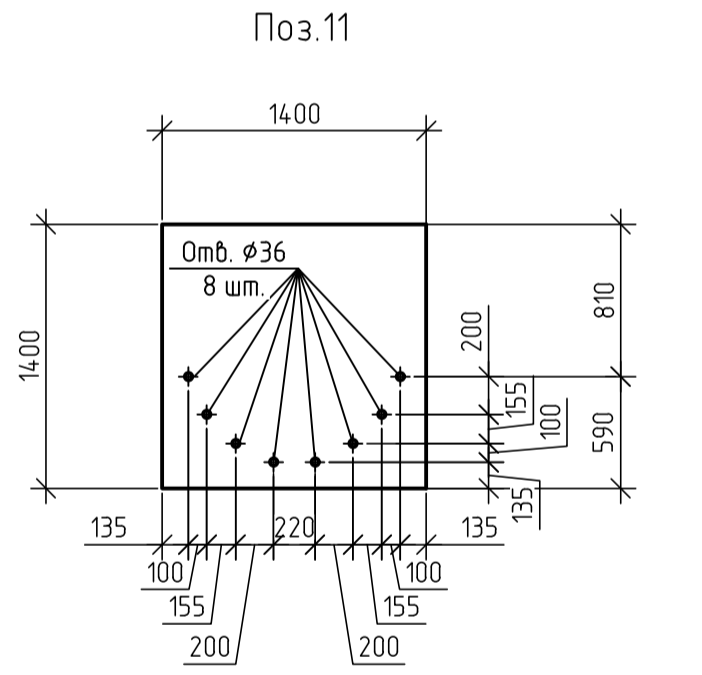
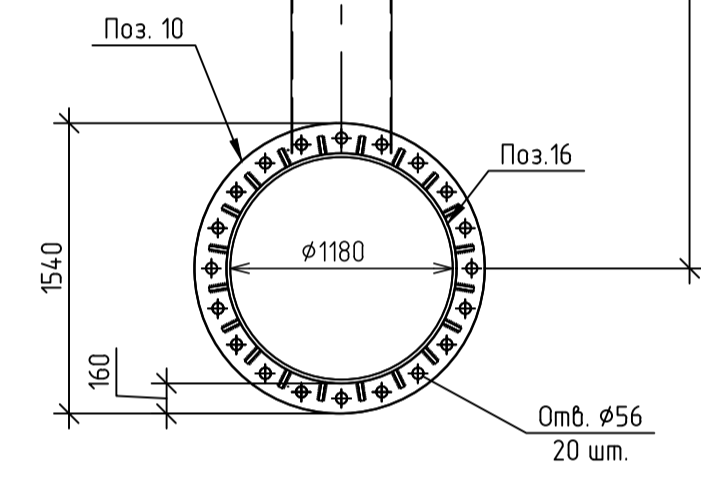
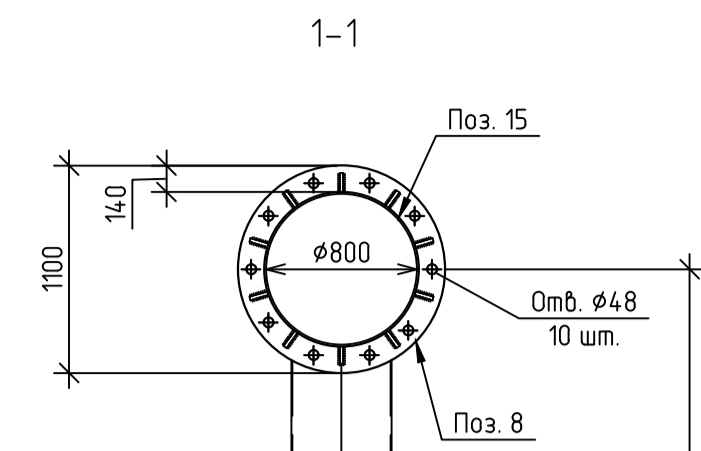
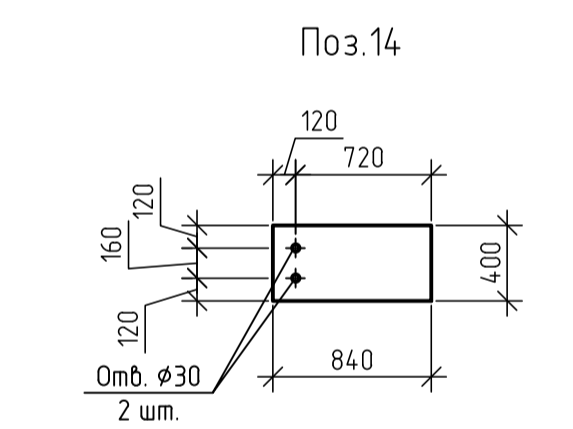
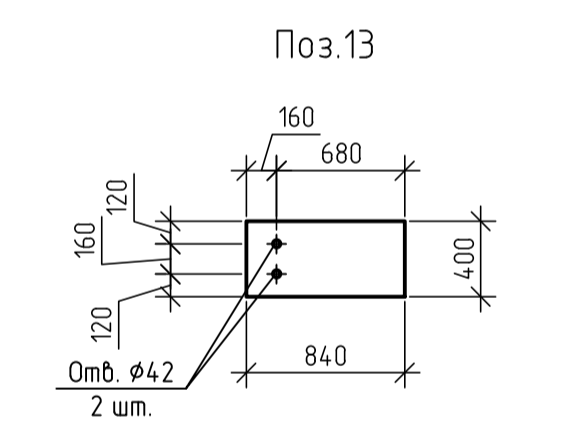
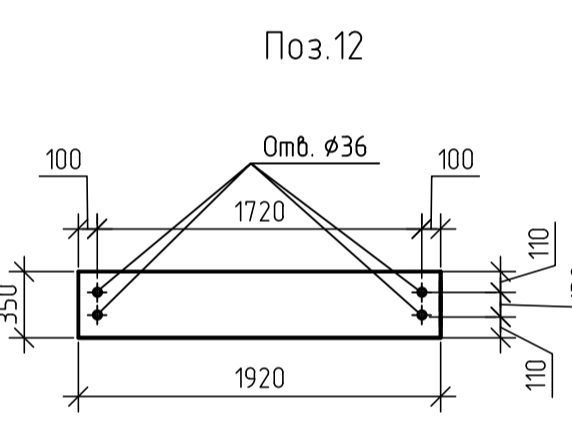
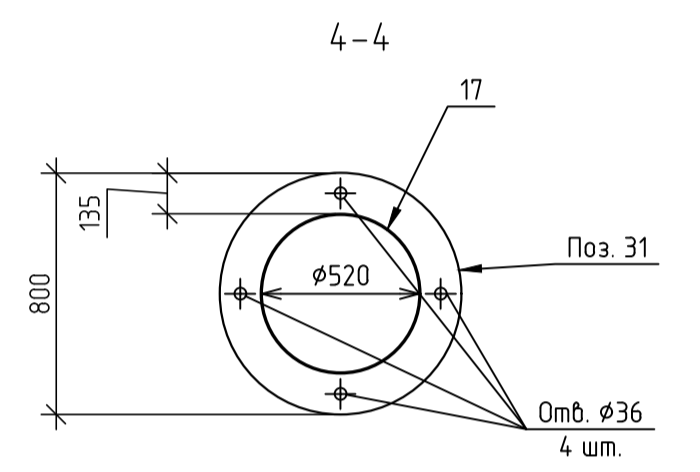
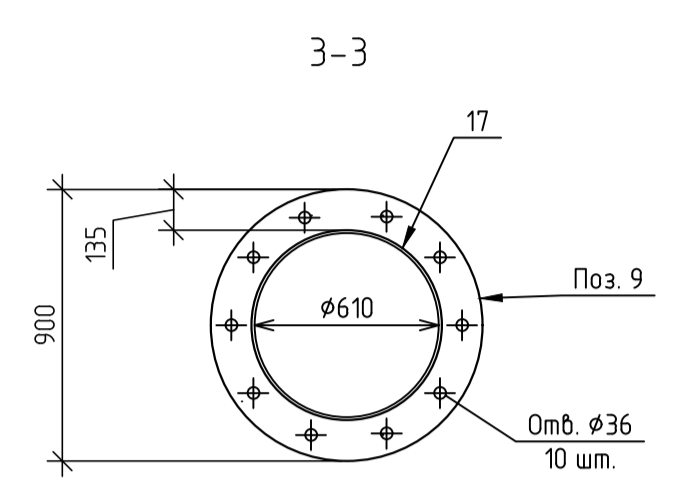
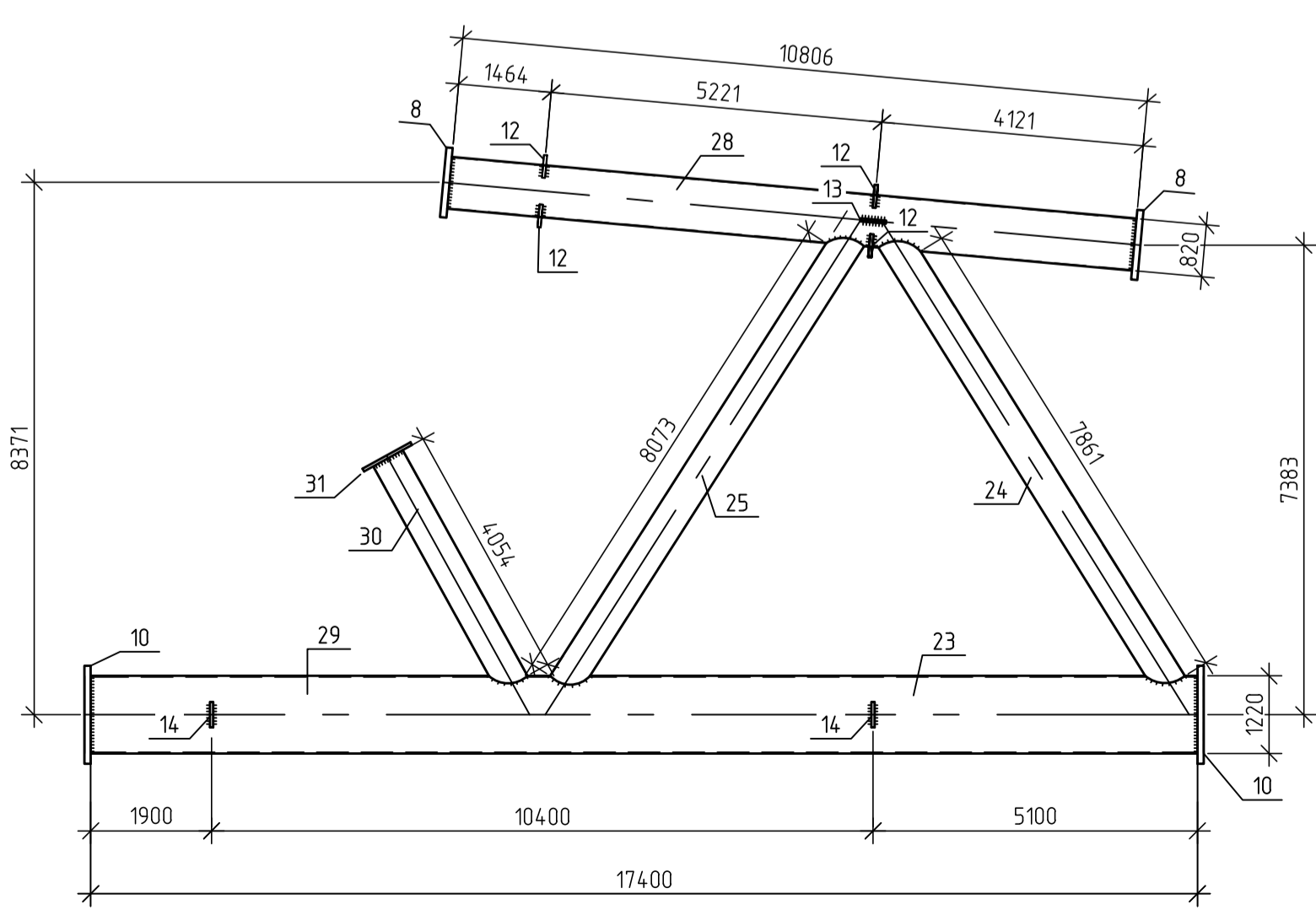
Отправочный элемент фермы Ф1.2



Отправочный элемент фермы Ф1.3



Отправочный элемент фермы Ф1.4



Ведомость отправочных элементов

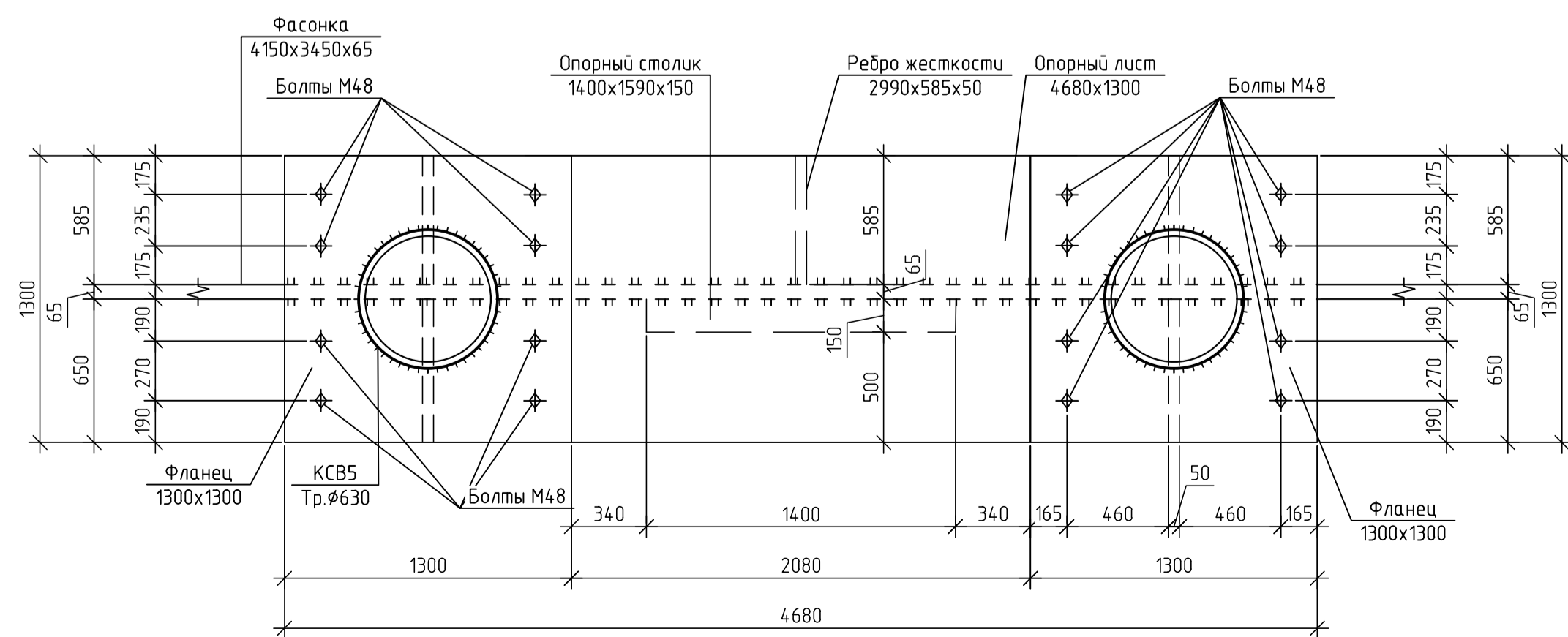
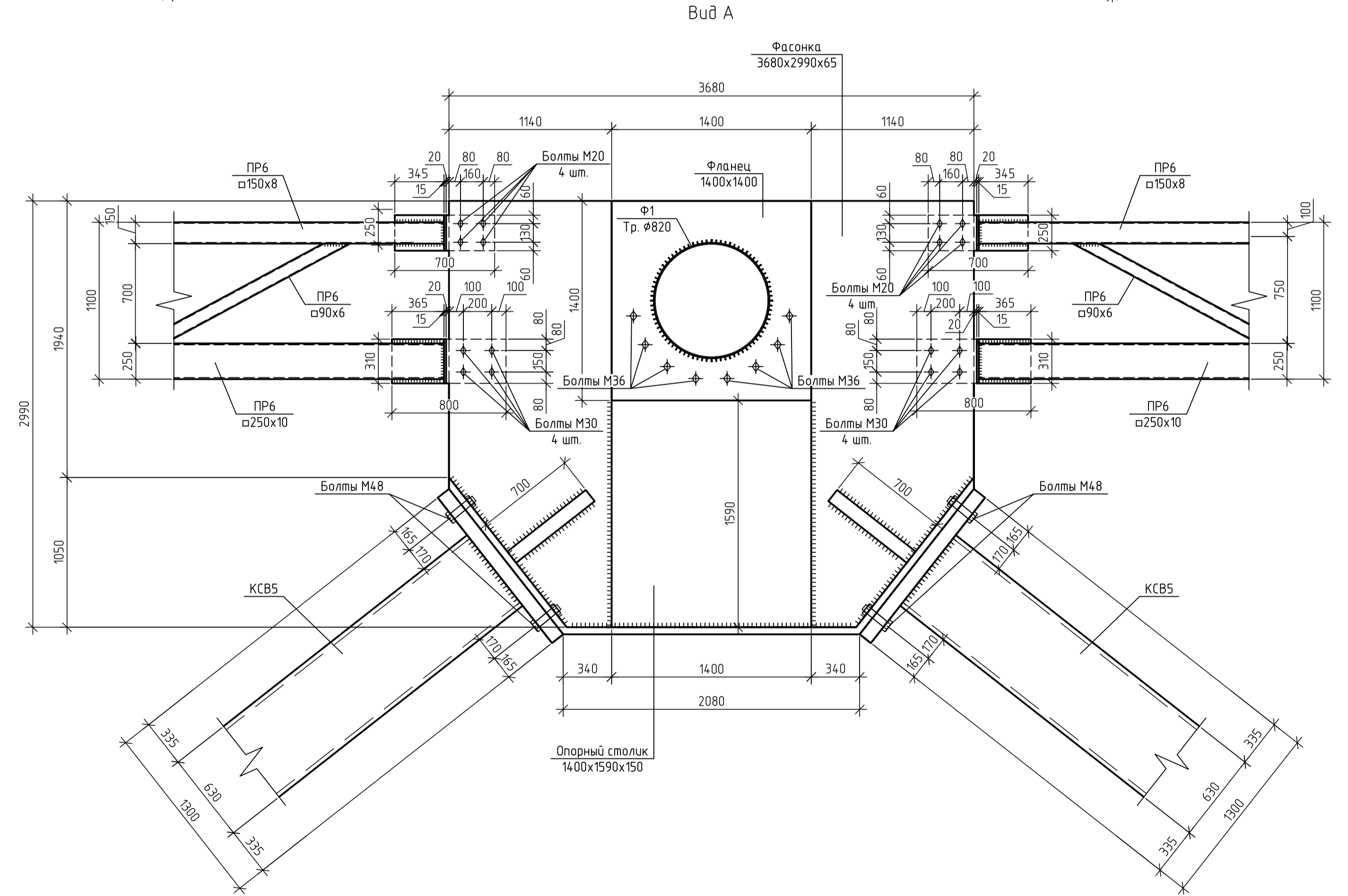
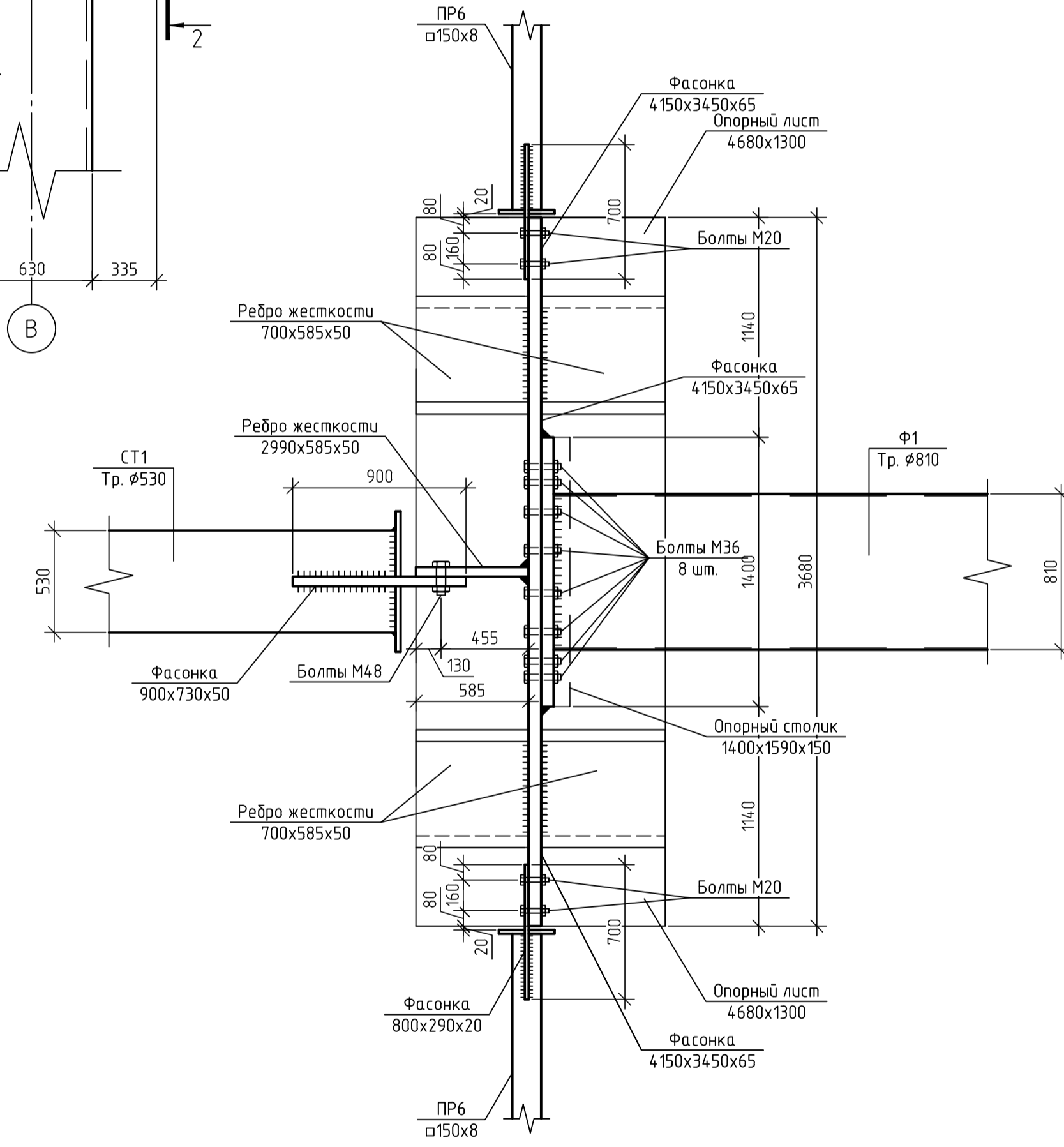
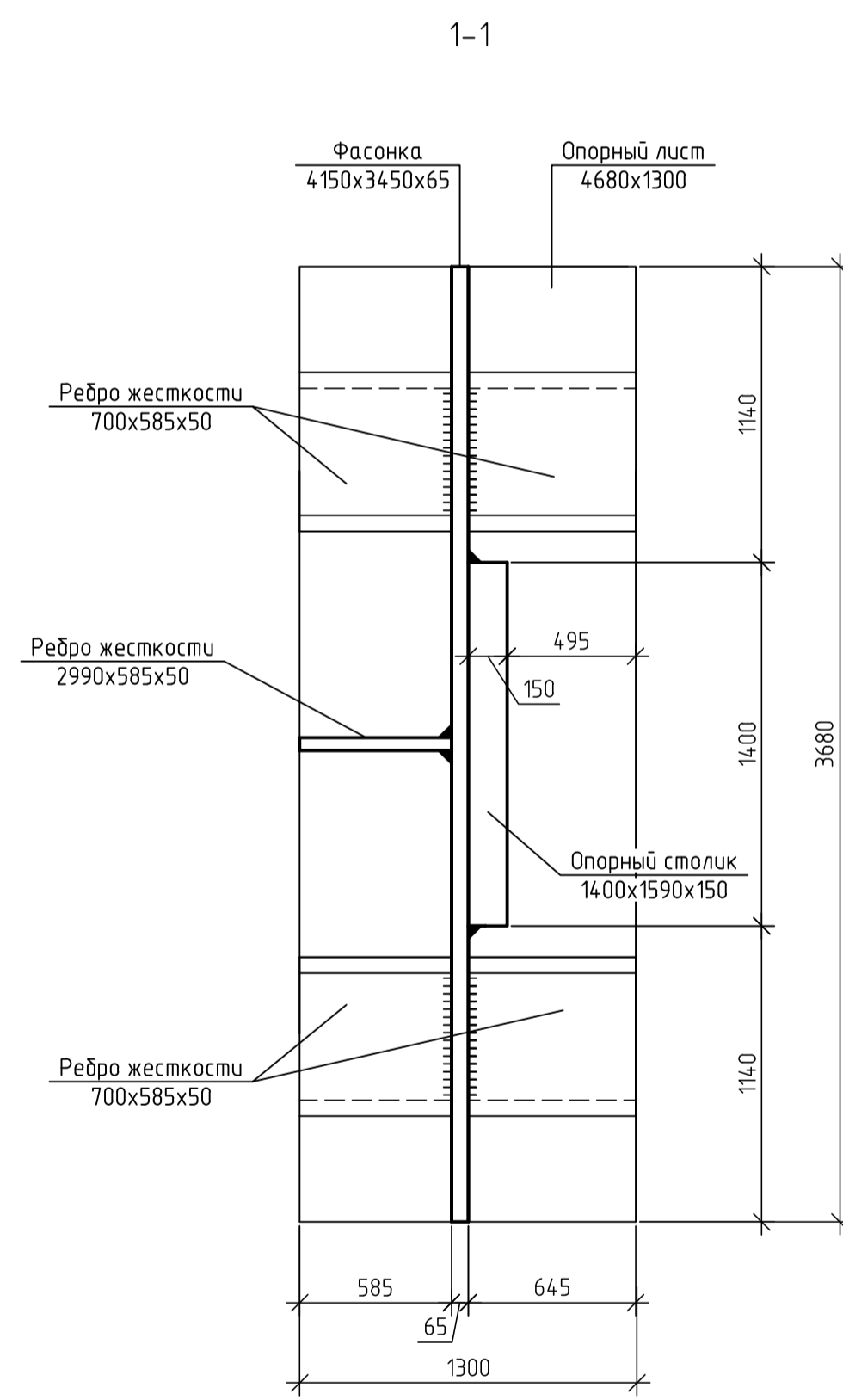
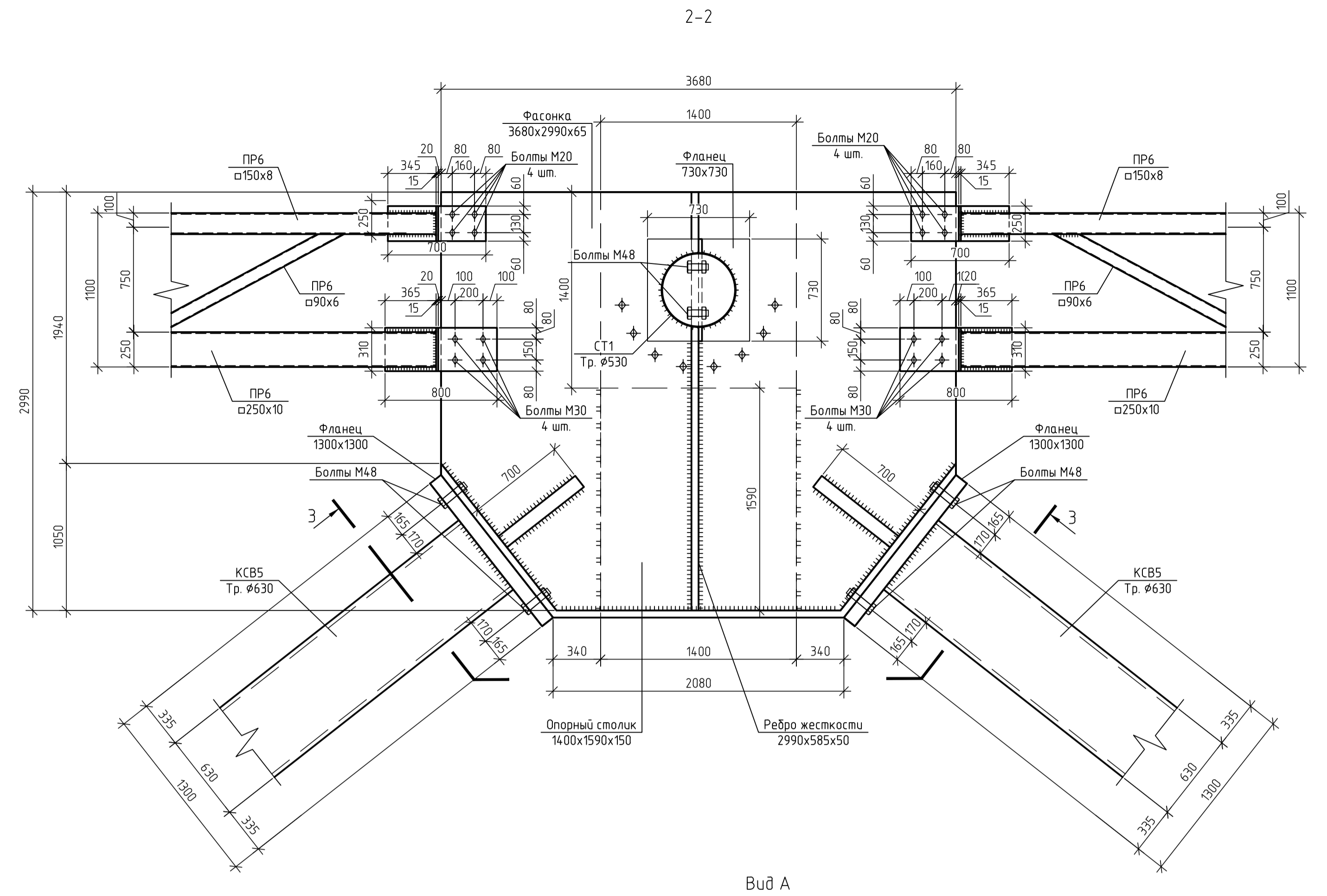
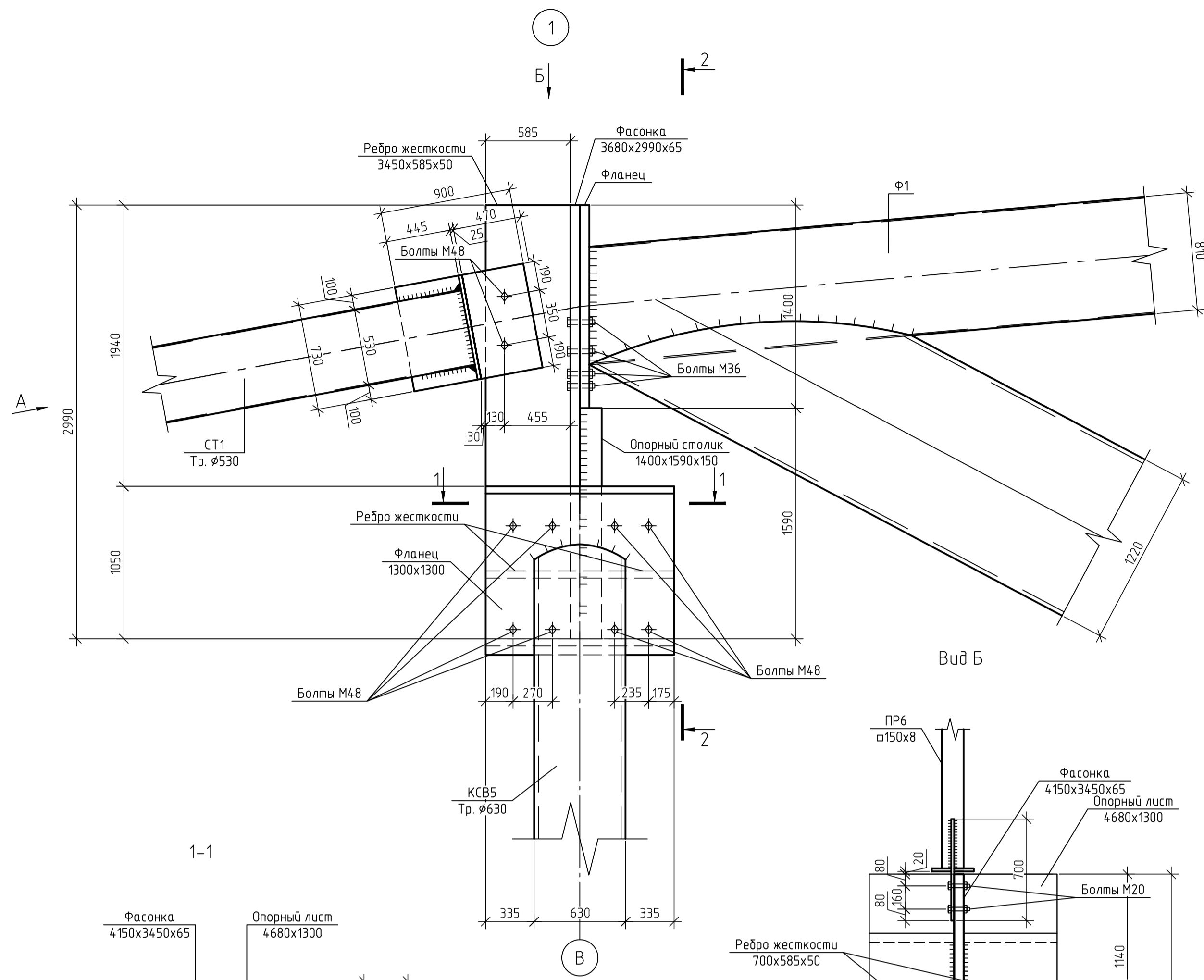
Марка элемента	Кол-во, шт.	Вес, кг	
		одного элемента	всех
Ф1.1	8	26762,04	214096,32
Ф1.2	8	23433,44	187467,52
Ф1.3	8	20457,7	163661,6
Ф1.4	8	21585,7	172685,6
Ф1.5	8	26762,04	214096,32
Ф1.6	8	23433,44	187467,52

Спецификация отправочных элементов фермы Ф1									
Марка элемента	Поз.	Кол, шт.		Сечение	Длина, мм	Масса, кг		Марка стали	Примечание
		м	н			шт.	элемент		
Ф1.1, Ф1.5	1	1	-	Тр. Ø820x10	16621	3522,9	3522,9	С345	
Ф1.1, Ф1.5	2	1	-	Тр. Ø1220x20	5726	4854,5	4854,5	С345	
Ф1.1, Ф1.5	3	1	-	Тр. Ø1220x20	10593	8980,7	8980,7	С345	
Ф1.1, Ф1.5	4	1	-	Тр. Ø1220x20	5194	4403,5	4403,5	С345	
Ф1.1, Ф1.5	5	1	-	Тр. Ø630x10	4684	735,4	735,4	С345	
Ф1.1, Ф1.5	6	1	-	Тр. Ø530x5	5665	400,2	400,2	С345	
Ф1.1, Ф1.5	7	1	-	Тр. Ø630x10	2801	439,8	439,8	С345	
Ф1.1, Ф1.5	8	1	-	Фланец Ø100x100	100	331,3	331,3	С345	26762,04
Ф1.1, Ф1.5	9	1	-	Фланец Ø900x100	100	270,04	270,04	С345	
Ф1.1, Ф1.5	10	1	-	Фланец Ø1540x150	150	812,5	812,5	С345	
Ф1.1, Ф1.5	11	1	-	1400x1400x65	1400	1000,1	1000,1	С345	
Ф1.1, Ф1.5	12	6	-	1920x350x25	1920	131,9	786,2	С345	
Ф1.1, Ф1.5	13	1	-	840x400x25	840	65,9	65,9	С345	
Ф1.1, Ф1.5	14	2	-	900x450x25	900	79,5	159	С345	
Вес сварных швов 1%							267,6		
Ф1.2, Ф1.6	15	1	-	Тр. Ø820x10	20628	4372,1	4372,1	С345	
Ф1.2, Ф1.6	16	1	-	Тр. Ø1220x20	15400	13056,1	13056,1	С345	
Ф1.2, Ф1.6	17	1	-	Тр. Ø630x10	3971	623,5	623,5	С345	
Ф1.2, Ф1.6	18	1	-	Тр. Ø530x5	6468	457	457	С345	
Ф1.2, Ф1.6	19	1	-	Тр. Ø530x5	7262	513,1	513,1	С345	
Ф1.2, Ф1.6	20	1	-	Тр. Ø530x5	7191	508	508	С345	
Ф1.2, Ф1.6	8	2	-	Фланец Ø100x100	100	331,3	662,6	С345	23433,44
Ф1.2, Ф1.6	9	1	-	Фланец Ø900x100	100	270,04	270,04	С345	
Ф1.2, Ф1.6	10	2	-	Фланец Ø1540x150	150	812,5	1625	С345	
Ф1.2, Ф1.6	12	8	-	1920x350x25	1920	131,9	1055,2	С345	
Ф1.2, Ф1.6	13	2	-	840x400x25	840	65,9	131,8	С345	
Ф1.2, Ф1.6	14	2	-	900x450x25	900	79,5	159	С345	
Вес сварных швов 1%							234,3		
Ф1.3	21	1	-	Тр. Ø820x10	14600	2865,3	2865,3	С345	
Ф1.3	22	1	-	Тр. Ø820x10	3621	767,5	767,5	С345	
Ф1.3	23	1	-	Тр. Ø1220x20	13400	11360,5	11360,5	С345	
Ф1.3	24	1	-	Тр. Ø530x5	7861	555,4	555,4	С345	
Ф1.3	25	1	-	Тр. Ø530x5	8073	570,4	570,4	С345	
Ф1.3	26	1	-	Тр. Ø530x5	8665	612,2	612,2	С345	
Ф1.3	27	1	-	Тр. Ø530x5	4879	344,7	344,7	С345	
Ф1.3	8	2	-	Фланец Ø100x100	100	331,3	662,6	С345	20457,7
Ф1.3	10	2	-	Фланец Ø1540x150	150	812,5	1625	С345	
Ф1.3	31	1	-	Фланец Ø800x40	40	91,4	91,4	С345	
Ф1.3	12	6	-	1920x350x25	1920	131,9	791,4	С345	
Ф1.3	13	2	-	840x400x25	840	65,9	131,8	С345	
Ф1.3	14	1	-	900x450x25	900	79,5	79,5	С345	
Вес сварных швов 1%							204,6		
Ф1.4	28	1	-	Тр. Ø820x10	10806	2290,3	2290,3	С345	
Ф1.4	29	1	-	Тр. Ø1220x20	17400	14751,7	14751,7	С345	
Ф1.4	30	1	-	Тр. Ø530x5	4054	286,4	286,4	С345	
Ф1.4	24	1	-	Тр. Ø530x5	7861	555,4	555,4	С345	
Ф1.4	25	1	-	Тр. Ø530x5	8073	570,4	570,4	С345	
Ф1.4	8	2	-	Фланец Ø100x100	100	331,3	662,6	С345	21585,7
Ф1.4	10	2	-	Фланец Ø1540x150	150	812,5	1625	С345	
Ф1.4	31	1	-	Фланец Ø800x40	40	91,4	91,4	С345	
Ф1.4	12	4	-	1920x350x25	1920	131,9	527,6	С345	
Ф1.4	13	1	-	840x400x25	840	65,9	65,9	С345	
Ф1.4	14	2	-	900x450x25	900	79,5	159	С345	
Вес сварных швов 1%							215,9		

1. Работать совместно с листами 3, 4, 14.
2. Трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91.
3. Сварка - механизированная, порошковой проволокой Св-10Г, электрод - 350.
4. Катет сварного шва принимать по наименьшей толщине свариваемых деталей.
5. Элемент Ф1.5 изготовить обратно Ф1.1.
6. Элемент Ф1.6 изготовить обратно Ф1.2.
7. На 4 элементах Ф1 из 8 поз.13 и 14 отсутствуют.
8. На отправочных элементах ребра жесткости на фланцах условно не показаны.

Изм. Кол. уц. Лист № док. Подп. Дата						ДР-08.05.01-2022 КМ		
Разраб. Шарыгин С.С.						ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"		
Провер. Фроловская А.В.						Инженерно-строительный институт		
						Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра		
						Статья	Лист	Листов
						У	13	
Н. контр. Фроловская А.В.						Отправочные элементы Ф1, спецификация, ведомость отправочных элементов, разрезы 1-1, 2-2, 3-3, 4-4		
Зад. кафедр. Георгиев С.В.						СКУС		

Согласовано  
Подп. и дата  
Имя, № подл.



1. Работать совместно с листами 3,4,13.
2. Материал конструкций - сталь 345.
3. Сварка - механизированная, порошковой проволокой Св-10ГА, электрод - 350.
4. Катет сварного шва принимать по наименьшей толщине свариваемых деталей.
5. Болты крепления Ф1 - М36 класса точности А, отв. диаметром 36.
6. Болты крепления КСВ5 - М48 класса точности А, отв. диаметром 48.
7. Болты крепления СТ1 - М48 класса точности А, отв. диаметром 48.
8. Болты крепления верхнего пояса ПР6 - М20 класса точности А, отв. диаметром 20.
9. Болты крепления нижнего пояса ПР6 - М30 класса точности А, отв. диаметром 30.

ДР-08.05.01-2022 КМ					ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Влияние особых нагрузок техногенного характера на каркас здания на примере крытого конькобежного центра	Станд.	Лист	Листов
Разраб.							У	14	
Провер.									
Н. контр.						Узел 1			СКУС
Зад. кафедры									Формат А1

Согласовано  
Подп. и дата  
Имя, № подл.

## Выводы по работе:

- напряженно-деформированное состояние элементов в каркасах (с консолями и без) примерно равно, расхождение в максимальных изгибающих моментах составляет всего 3%;
- самой опасной расчетной ситуацией при расчете на прогрессирующее обрушение является внезапное начальное локальное разрушение элемента нижнего пояса фермы. Вертикальные перемещения, возникающие в элементах каркаса, составляют 618,81 мм, что больше предельно допустимых значений при условиях нормальной эксплуатации (347,33 мм), но меньше предельно допустимых значений при расчете на прогрессирующее обрушение. Предельно допустимые вертикальные перемещения элементов каркаса для особого предельного состояния не должны превышать  $1/50$  длины пролета ( $104200/50=2084$  мм). Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость – 569 шт. (1,92% от общего количества элементов), при этом теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы обрешетки, возможность возникновения прогрессирующего обрушения всего здания незначительна;
- другие расчетные ситуации при расчете на прогрессирующее обрушение показали менее опасный характер, максимальные вертикальные перемещения во всех случаях меньше предельно допустимых значений;
- при расчете каркаса на удар грузового автотранспортного средства все элементы каркаса удовлетворяют требованиям прочности, устойчивости и гибкости;
- при расчете каркаса на внутренний взрыв несущая решетчатая стойка, попадающая в участок взрыва, осталась в рабочем состоянии, теряют несущую способность/устойчивость в основном элементы стоек фахверка. Количество элементов, потерявших несущую способность/устойчивость – 23 шт. (0,08% от общего количества элементов);
- принятые конструктивные решения, введенные связевые элементы (вертикальные связевые фермы, связи по нижним и верхним поясам ферм, колонны-связи и т.д.) способствуют перераспределению усилий при особых воздействиях и защищают металлический каркас здания от обрушения. Следовательно, каркас большепролетного здания спортивного центра устойчив к особым видам нагрузок техногенного характера;
- для каркаса здания разработаны отправочные элементы фермы, а также законструирован основной опорный узел.