

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

Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара  
относительно кровельных ограждающих конструкций  
тема

Руководитель	_____	<u>доцент, к.т.н.</u>	<u>А.В. Фроловская</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.А. Левданская</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Продолжение титульного листа **дипломной работы** по теме  
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций

Консультанты по разделам:

Вариантное проектирование  
наименование раздела

\_\_\_\_\_

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Численно-исследовательская часть  
наименование раздела

\_\_\_\_\_

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

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

« \_\_\_\_ »      \_\_\_\_ 2022 г.

### ПЛАН РАБОТЫ

Студентке Левданской Алине Андреевне. Группа СС16-11. Направление (профиль) 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Тема выпускной квалификационной работы: Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций.

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. Анализ нормативно технической документации. Обзор существующих конструктивных решений. Алгоритм сбора и расчета особых нагрузок.	25.12.2021
Постановка задачи исследования	17.01.2022
Численные исследования каркаса с несущими элементами снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций. Расчет на основные нагрузки в ПК SCAD.	01.02.2022
Расчет на особые виды нагрузок в ПК SCAD первого варианта ангара	21.02.2022
Численные исследования каркаса с несущими элементами внутри относительно кровельных ограждающих конструкций. Расчет на основные нагрузки в ПК SCAD.	14.03.2022
Расчет на особые виды нагрузок в ПК SCAD второго варианта ангара	04.04.2022

Анализ результатов расчета и их сопоставление. Выбор оптимального варианта каркаса	25.04.2022
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

А.А. Левданская

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа по теме «Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций» содержит 136 страниц текстового документа, 30 использованных источников, 15 листов графического материала.

**КОНСТРУКЦИЯ, КАРКАС, ОСОБЫЕ НАГРУЗКИ, ПОЖАР, ВНУТРЕННЕЕ ВЗРЫВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, АНАЛИЗ, ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ, КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ.**

Объект исследования- каркас вертолетного ангара пролетом 111 м.

Цели дипломной работы: исследование вариантов расположения несущих элементов металлического каркаса на примере вертолетного ангара, в зависимости от их размещения относительно кровельных ограждающих конструкций, и определение более оптимального варианта, с позиции рассмотрения ангара не только как объекта повышенной опасности, но и с точки зрения климатических условий, в которых будет эксплуатироваться здание.

Основные задачи: выполнение обзора существующих конструктивных решений ангаров для авиационного транспорта; изучение особенностей расчета и приложения особых нагрузок (внутреннее взрывное воздействие, пожар, экстремальные температурные воздействия) на каркас здания; выполнение численных исследований каркасов на воздействие основных нагрузок с помощью программного комплекса SCAD office; выполнение численных исследований каркасов на воздействие особых нагрузок с помощью программного комплекса SCAD office; проведение анализа полученных результатов и выбор оптимального расположения несущих конструкций относительно ограждающих конструкций кровли; разработка конструктивных решений для выбранного каркаса.

Проведены расчеты двух вариантов вертолетных ангаров на основные и особые нагрузки в программном комплексе SCAD office. Был выполнен анализ результатов расчета, их сопоставление. Выбран оптимальный вариант каркаса вертолетного ангара. Разработаны конструктивные решения для выбранного каркаса.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	8
Глава 1. Общие сведения о конструктивных решениях для авиационных ангаров и определении особых нагрузок .....	10
1.1 Анализ нормативно-технической документации .....	10
1.2 Обзор существующих конструктивных решений для авиационных ангаров .....	11
1.3 Алгоритм сбора и расчета особых нагрузок .....	16
1.3.1 Пожар .....	16
1.3.2 Внутреннее взрывное воздействие .....	18
1.3.3 Экстремальное температурное воздействие .....	19
1.4 Постановка задачи исследования .....	20
1.5 Выводы по главе 1 .....	21
Глава 2. Численные исследования каркасов с несущими элементами снаружи и внутри относительно кровельных ограждающих конструкций .....	22
2.1 Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций .....	22
2.1.1 Описание конструктивного решения. Компоновка каркаса .....	22
2.1.2 Расчетная схема в ПК SCAD .....	23
2.1.3 Сбор нагрузок .....	24
2.1.4 Задание комбинаций нагрузок и РСУ .....	42
2.1.5 Приложение основных нагрузок .....	44
2.1.6 Подбор сечений .....	47
2.1.7 Расчет каркаса здания на особые нагрузки .....	50
2.2 Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций .....	69
2.2.1 Описание конструктивного решения. Компоновка каркаса .....	69
2.2.2 Расчетная схема в ПК SCAD .....	70
2.2.3 Сбор нагрузок .....	71

					ДР—08.05.01 ПЗ			
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата				
Разраб.		Левданская			Пояснительная записка	Стадия	Лист	Листов
						У	6	136
Руководит		Фроловская				СКиУС		
Н.контроль		Фроловская						
Зав. каф.		Деордиев						

2.2.4 Задание комбинаций нагрузок и РСУ .....	77
2.2.5 Приложение нагрузок .....	78
2.2.6 Подбор сечений .....	81
2.2.7 Расчет каркаса здания на особые нагрузки .....	84
2.3 Выводы по главе 2 .....	100
Глава 3. Выбор оптимального варианта каркаса и разработка конструктивных решений .....	102
3.1 Анализ результатов расчета и их сопоставление.....	102
3.2 Разработка конструктивных решений.....	103
3.2.1 Расчет узлов.....	114
3.3 Выводы по главе 3.....	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	133
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	135

## ВВЕДЕНИЕ

Каждый год на территории Сибири происходят крупные пожары в осенне-летний период времени. Основное их сосредоточение — это Красноярский край, Иркутская область, Якутия, Бурятия. Из-за малого количества осадков и сильного ветра возникают риски по распространению огня на огромные территории. Эти пожары стали одними из самых масштабных за много лет. Из-за возгораний в лесах задымление возникало даже в некоторых городах.

Для борьбы с огнем используют многие средства, например, пожарные автоцистерны, навесные насосы, в использовании могут быть поливочные машины и агрегаты для подачи воды к пожару. Данное оборудование применяют для тушения низовых, верховых (устойчивых) и почвенных пожаров.

Для предотвращения/устранения пожаров на территориях, где трудно справиться с помощью техники, представленной выше, для оперативности и эффективности используют авиатехнику. А именно, вертолеты и самолеты. Вертолеты имеют определенное преимущество, так как могут выполнять вертикальный подъем и спуск, а также могут зависать на месте. Что позволяет им делать посадку на небольшом пространстве. Стоит еще упомянуть о том, что во время пожаротушения, можно контролировать скорость вертолета в момент слива жидкости для предотвращения огня, увеличивая или уменьшая дозировку воды.

Поэтому возникает необходимость создания ангара для базировки вертолетов на территории пригорода Красноярска, вертолеты будут эксплуатироваться с целью устранения пожаров, доставки спасателей на место чрезвычайной ситуации, для эвакуации людей, а также, возможно, и для других целей.

Вертолетный ангар, рассматриваемый в рамках работы, предназначен для временного хранения и ремонта вертолетов, подготовки к полетам, и относится к объектам повышенной опасности. Эксплуатация любого объекта повышенной опасности может привести к возникновению серьезных чрезвычайных ситуаций, катастроф, а также несчастных случаев с человеческими жертвами.

Во время эксплуатации вертолетных ангаров возможны взрывы и пожары от авиационного топлива, которые приводят к негативным последствиям (разрушения и повреждения зданий, сооружений, техники, оборудования и т.д.). На ликвидацию последствий тратятся большие силы и средства.

В данной работе проведены исследования на особые виды нагрузок техногенного характера при двух вариантах расположения несущих элементов относительно ограждающих конструкций кровли для вертолетного ангара.

При первом варианте, когда несущие конструкции расположены снаружи относительно ограждающих конструкций кровли, они меньше пострадают от



внутреннего взрыва или пожара, но при этом будут подвержены температурным климатическим воздействиям, которые зависят от района строительства.

Второй вариант конструктивного решения вертолетного ангара, когда несущие конструкции расположены внутри здания, будет оптимальным с позиции климатических нагрузок, но будет больше подвержен внутренним особым воздействиям.

Цель выпускной квалификационной работы: исследование вариантов расположения несущих элементов металлического каркаса на примере вертолетного ангара, в зависимости от их размещения относительно кровельных ограждающих конструкций, и определение более оптимального варианта, с позиции рассмотрения ангара не только как объекта повышенной опасности, но и с точки зрения климатических условий, в которых будет эксплуатироваться здание.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить обзор существующих конструктивных решений ангаров для авиационного транспорта;
- изучить особенности расчета и приложения особых нагрузок (внутреннее взрывное воздействие, пожар, экстремальные температурные воздействия) на каркас здания;
- выполнить численные исследования каркасов на воздействие основных нагрузок с помощью программного комплекса SCAD office;
- выполнить численные исследования каркасов на воздействие особых нагрузок с помощью программного комплекса SCAD office;
- провести анализ полученных результатов и выбрать оптимальное расположение несущих конструкций относительно ограждающих конструкций кровли;
- разработать конструктивные решения для выбранного каркаса.

Результат такой работы даст понимание того, какое влияние оказывают климатическая составляющая и другие особые нагрузки, на каркас здания при различном расположении несущих конструкций. В итоге будет выбран оптимальный каркас здания, который будет менее чувствителен к рассматриваемым нагрузкам. А также разработаны конструктивные решения для выбранного каркаса.

## **Глава 1. Общие сведения о конструктивных решениях для авиационных ангаров и определении особых нагрузок**

### **1.1 Анализ нормативно-технической документации**

На данный момент для проектирования и расчета уникальных зданий (вертолетный ангар пролетом более 110 м, рассматриваемый в данной дипломной работе является уникальным) существует малое количество документов, это говорит о том, что проектировщики, расчетчики должны так же собирать необходимую информацию из совокупности большого количества правил. Из-за того, что такие объекты имеют нестандартные решения, они должны быть рассчитаны с особой точностью.

Основными нормативными документами для написания данной дипломной работы стали следующие своды правил СП 304.1325800.2017 «Конструкции большепролетных зданий и сооружений» [2], СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия» [3], СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [4].

## 1.2 Обзор существующих конструктивных решений для авиационных ангаров

Строительство ангаров начало развиваться во Франции в начале 20 века. Это были «ангары системы «Бессонно»» (URL: <http://www.corpusetampoais.com/che-21-gineste2006bessonneau.html>). Они представляли собой деревянную конструкцию, накрытую брезентом. На рисунках ниже представлены ангары системы «Бессоно».

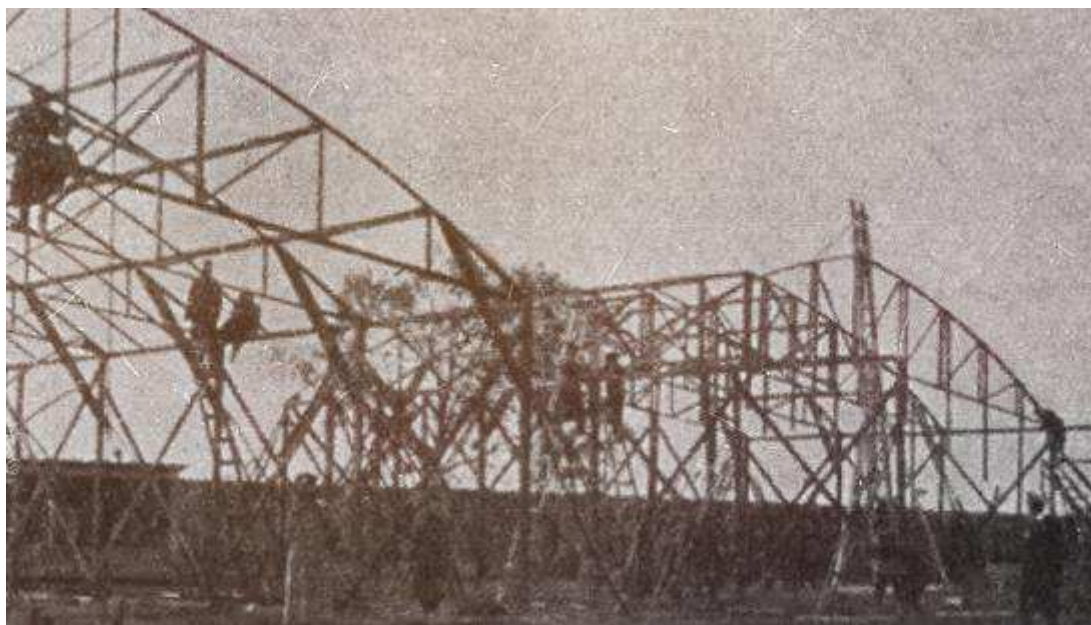


Рисунок 1- Монтаж ангара системы «Бессоно»

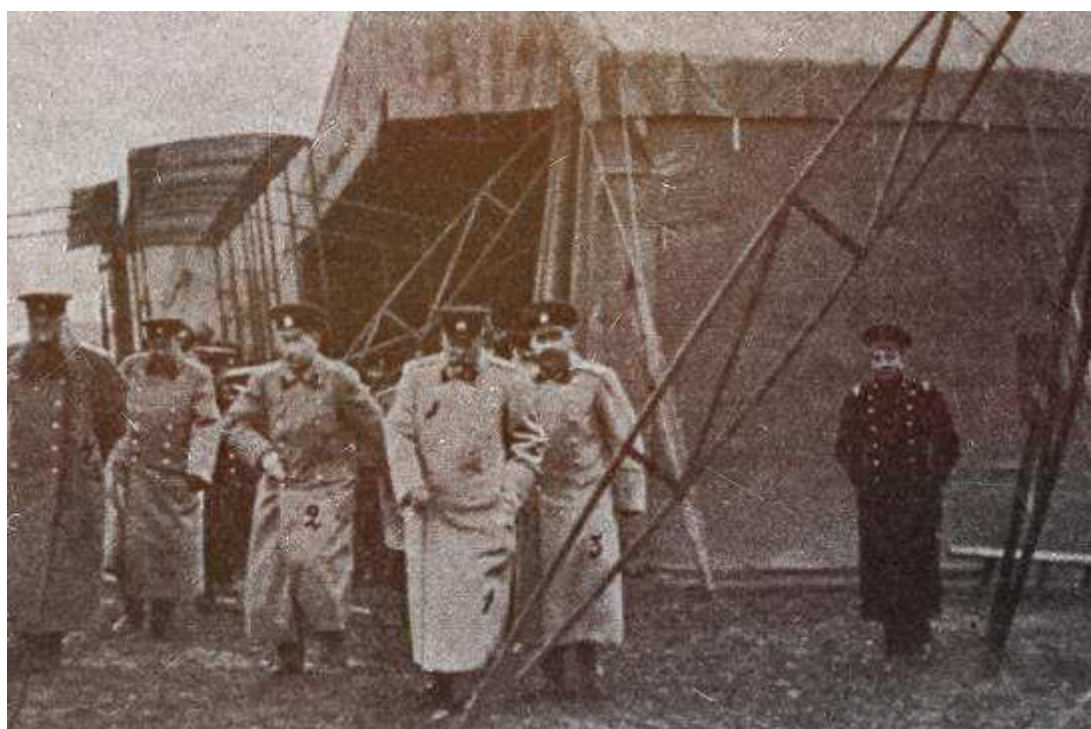


Рисунок 2- Ангар системы «Бессоно»

Но с течением времени для строительства авиационных ангаров стали применять новые материалы, разные конструктивные решения. Начали более точно производить их расчет, с учетом особых нагрузок, так как данный вид здания является объектом повышенной опасности. С каждым годом строения ангаров становятся более масштабными.

В настоящее время в строительстве ангаров стали чаще использовать металлические конструкции.

Можно выделить следующие виды ангаров для авиационной техники, которые используют в настоящее время.

#### Бескаркасные неразборные ангары

Такие ангары возводятся прямо на объекте. С помощью специального оборудования формируются стальные рулоны. Эти рулоны скрепляются вместе без крепежа, а с помощью холодного деформирования.

Недостатки данного вида в том, что такие ангары в дальнейшем не подлежат разборке, а также от чрезмерной снеговой нагрузки они могут сложиться.

Пример такого ангара можно увидеть на рисунке



Рисунок 3- Бескаркасный неразборный ангар

### Бескаркасные сборно-разборные ангары

Отличие этого вида ангара от предыдущего заключается в том, что соединение стальных рулонов происходит не с помощью холодного деформирования, а с использованием крепежа.

Отдельные секции арки изготавливаются на заводе из листовой оцинкованной стали. На строительной площадке арка собирается из отдельных частей специальными болтами. Пример такого ангара представлен на следующем рисунке

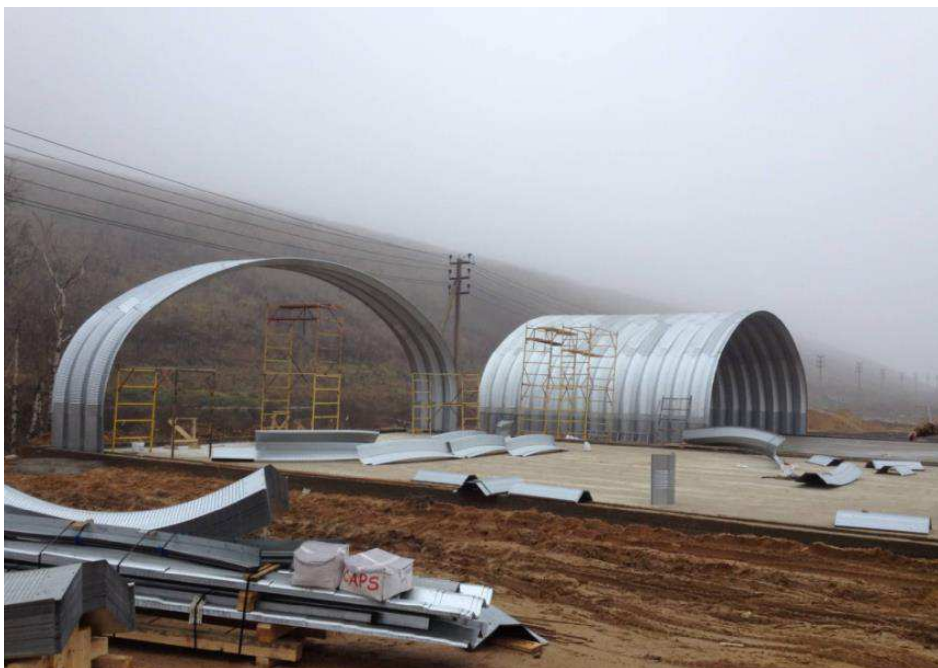


Рисунок 4- Бескаркасный сборно-разборный ангар

### Каркасный тентовый ангар

Отличительной особенностью такого ангара является использование укрывного материала- тента.

Производство данного вида ангара заключается в возведении металлического каркаса, по которому изготавливают специальный тент, для того чтобы он идеально сел на каркас.

В зависимости от габаритов ангара тент может изготавливаться единым полотном, либо частями, которые герметично спаиваются между собой при монтаже. Тент натягивается на каркасе и закрепляется шнурами через люверсы.

Тентовый ангар показан на рисунке



Рисунок 5- Каркасный тентовый ангар

Каркасный прямостенный металлический ангар

Является самым распространенным. Такие каркасы выполняют из металлопроката на основе легких металлоконструкций, а также из балочных и ферменных конструкций. Для покрытия используют профилированный лист. Данный ангар показан на рисунке



Рисунок 6- Каркасный прямостенный металлический ангар

Ангар со стальным каркасом из двутавров

Для возведения такого ангара используются двутавровые балки. Высоту можно принимать до 30 м. Основным преимуществом является то, что такие ангара можно возводить в любом снеговом и ветровом районе. Такой вид ангара показан на рисунке ниже



Рисунок 7- Ангар со стальным каркасом из двутавров

### **1.3 Алгоритм сбора и расчета особых нагрузок**

Согласно [5] ангары для авиационной техники относятся к сооружениям повышенной ответственности класса КС-3. Поэтому, по [3] при проектировании сооружений такого класса следует учитывать особые нагрузки.

Особые нагрузки подразделяются на нормируемые и аварийные. Нормируемые нагрузки — это такие нагрузки, интенсивность и распределение которых по поверхности или объему сооружений известны и заданы в действующих нормативных документах или в задании на проектирование.

К аварийным относятся особые нагрузки и воздействия, которые не регламентируются в нормативных документах, и могут привести к аварийной расчетной ситуации.

Нагрузки рассматриваемы в данной работе нормируемые.

#### **1.3.1 Пожар**

Ангары для авиационной техники являются одними из наиболее пожароопасных объектов, так как там может храниться большое количество легковоспламеняющихся жидкостей, изделия из резины и прочее.

Степень огнестойкости здания- П. Класс функциональной пожарной опасности- Ф5.1. Класс конструктивной пожарной опасности- СО. Класс пожарной опасности строительных конструкций- КО. По [7] категория по пожарной опасности В.

Согласно [8], предел огнестойкости конструкций- промежуток времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормированных для данной конструкции (заполнения проемов противопожарных преград) предельных состояний.

Для определения нагрузки от пожара использовалась следующая последовательность действий.

Сначала определили место, наиболее удаленное от путей эвакуации. Затем назначили последовательность выхода конструктивных элементов из работы. И далее поочередно, обнуляя жесткости у элементов, пришли к общей картине, показывающей как, поведет себя каркас в результате воздействия пожара.

Согласно [9], расстояние от наиболее удаленного рабочего места в помещении до ближайшего эвакуационного выхода из помещения непосредственно наружу, в коридор или в лестничную клетку не должно превышать значений, приведенных в таблице 1. Расстояние назначается в зависимости от объема помещения, его категории, плотности людского потока, степени огнестойкости здания и класса его конструктивной пожарной опасности. Ширину эвакуационного выхода (двери) из коридора наружу или в лестничную клетку следует принимать в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход и количества людей на 1 м ширины выхода



(двери), но не менее 0,8 м, при наличии работающих инвалидов с нарушениями опорно-двигательного аппарата - не менее 0,9 м.

Таблица 1- Нормы для категорий помещений при сочетаниях степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности

Объем помещения, тыс.м	Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Расстояние, м, при плотности людского потока в общем проходе*, чел/м		
				до 1	св. 1 до 3	св. 3 до 5
До 15	А, Б	I, II, III, IV	С0	40	25	15
	В1-В3	I, II, III, IV III, IV V	С0	100	60	40
			С1 С2, С3	70 50	40 30	30 20
30	А, Б	I, II, III, IV	С0	60	35	25
	В1-В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	145 100	85 60	60 40
40	А, Б	I, II, III, IV	С0	80	50	35
	В1-В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	160 110	95 85	65 45
50	А, Б	I, II, III, IV	С0	120	70	50
	В1-В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	180 160	105 95	75 65
60 и более	А, Б	I, II, III, IV	С0	140	35	30
	В1-В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	200 180	110 105	35 75
80 и более	В1-В3	I, II, III, IV III, IV	С0	240	140	100
			С1	200	110	85
Независимо от объема	В4, Г	I, II, III, IV III, IV V	С0	Не	Не	Не
			С1	огр. 180	огр. 35	огр. 55
			Не норм.	120	70	50
То же	Д	I, II, III, IV III, IV	С0, С1	Не	Не	Не
			С2, С3	огр. 160	огр. 95	огр. 65

\* Отношение числа эвакуирующихся из помещений к площади пути эвакуации.

Очередность выхода элементов из строя принимается согласно [8]. В зависимости от степени огнестойкости здания или сооружения, определяется предел огнестойкости той или иной строительной конструкции.

Значения пределов огнестойкости для строительных конструкций приведены в [8, табл. 21].

Данная таблица представлена на рисунке 8.

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется

Рисунок 8- Предел огнестойкости для строительных конструкций

### 1.3.2 Внутреннее взрывное воздействие

Чтобы сделать расчет на взрывное воздействие необходимо определить 3 возможных местоположения помещения, где будут храниться канистры с авиационным топливом. Это необходимо, для того чтобы понять, в каком из помещений будет нанесен меньший ущерб каркасу. По [6] баллоны с горючими газами, емкости (бутылки, бутылки, другая тара) с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, а также аэрозольные упаковки должны быть защищены от солнечного и иного теплового воздействия. Следовательно, помещения, где будут располагаться данные емкости, не могут иметь окон, но требуется предусмотреть двери и ворота.

Для определения значения нагрузки от внутреннего взрыва следует воспользоваться [3].

В качестве расчетной нагрузки на несущие и ограждающие конструкции при взрывах газа 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

$$p_d = 3 + p_v, \quad (1)$$

$$p_d = 3 + 0,5 \cdot p_v + 0,04 / \left(\frac{A_v}{V}\right)^2, \quad (2)$$

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

$A_v$  – площадь вентилируемых проемов, м<sup>2</sup>;

$V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

После определения статического давления взрыва требуется определить нагрузку на конструкции, для этого необходимо давление умножить на грузовую площадь вертикальных и горизонтальных поверхностей.

Прикладывая полученное значение нагрузки и производя расчет, получаем результат, на основании которого, отдаем предпочтение одной из двух схем.

### 1.3.3 Экстремальное температурное воздействие

Расчет строительных конструкций на температурные климатические воздействия при особых сочетаниях нагрузок выполняем согласно [1]. При этом средние суточные температуры наружного воздуха в теплое  $t_{ew}$  и холодное  $t_{ec}$  время года для надземной части сооружений принимаем по [3, п. 6.8.2].

Экстремальные климатические воздействия учитывают для площадок строительства, расположенных в местности с идентичными топологическими и метеорологическими условиями в радиусе не более 50 км от населенного пункта, указанного в [3, табл. А.3, А.4].

Для населенных пунктов, которые не указаны в [3, табл. А.3, А.4], экстремальные климатические воздействия допускается не учитывать.

Город Красноярск находится в таблице со значениями дополнительного коэффициента надежности при определении минимальных значений температур, следовательно необходимо учесть экстремальное температурное воздействие.

Данная нагрузка будет прикладываться на конструкции, которые не защищены от суточных и сезонных изменений температуры. То есть в случае первой схемы нагрузка прикладывается на ригели главных рам, на фермы и двухветвевые колонны. Для второй схемы — это двухветвевые колонны.

Для конструкций, защищенных от суточных и сезонных изменений температуры, температурные климатические воздействия учитывать не требуется.

Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в холодное  $\Delta t_c$  время года определяем по формуле

$$\Delta t_c = t_c - t_{ow}, \quad (3)$$

где  $t_c$  — нормативное значение средней температуры по сечению элемента в холодное время года, принимается по [1, п. 13.3];

$t_{ow}$  — начальная температура в теплое время года, принимается в соответствии с [1, п. 13.6].

Нормативное значение средней температуры  $t_c$  и перепадов температур по сечению элемента в теплое  $\vartheta_w$  и  $\vartheta_c$  холодное время года для однослойных конструкций следует определять по [1, табл. 13.1], по формулам

$$t_c = t_{ic} + 0,6(t_{ec} - t_{ic}) - 0,5 \cdot \theta_2, \quad (4)$$

$$\vartheta_c = 0,8(t_{ec} - t_{ic}) - 0,5 \cdot \theta_3, \quad (5)$$

где  $t_{ec}$  – среднесуточные температуры наружного воздуха в холодное время года для надземной части сооружения принимается согласно [3, п. 6.8.2];

$t_{ic}$  – температура внутреннего воздуха помещений в холодное время года, по заданию на проектирование;

$\theta_2, \theta_3$  – приращение средних по сечению элемента температур и перепада температур от суточных колебаний температуры наружного воздуха, принимается по [1, табл. 13.2].

Среднесуточные температуры наружного воздуха в холодное время года для надземной части сооружения определяются по формуле

$$t_{ec} = \gamma_a \cdot t_{min} + 0,5A_I, \quad (6)$$

где  $\gamma_a$  – значения дополнительного коэффициента надежности для экстремальных температурных воздействий, принимаемые для минимальных значений температуры воздуха  $t_{min}$  – по [3, табл. А.4];

$t_{min}$  – нормативное значение минимальной температуры воздуха принимается по [1, прил. Е, карта 4];

$A_I$  – средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца по [10].

Начальную температуру, соответствующую замыканию конструкции или ее части в законченную систему в холодное время года  $t_{oc}$  следует определять по формуле

$$t_{oc} = 0,2 \cdot t_{VII} + 0,8 \cdot t_I, \quad (7)$$

где  $t_I, t_{VII}$  – многолетние средние месячные температуры воздуха в январе и июле, принимаемые для надземной части сооружений по [10, табл. 5.1].

Начальную температуру, соответствующую замыканию конструкции или ее части в законченную систему в теплое время года  $t_{ow}$  следует определять по формуле

$$t_{ow} = 0,8 \cdot t_{VII} + 0,2 \cdot t_I. \quad (8)$$

Коэффициент надежности 1,1.

#### 1.4 Постановка задачи исследования

Исследовать влияние основных и особых (пожар, внутреннее взрывное воздействие, экстремальное температурное воздействие) нагрузок на каркасы с

расположением несущих конструкций внутри и снаружи относительно ограждающих конструкций кровли.

Данная работа позволит понять то, какое влияние оказывают не только климатическая составляющая, но и другие особые нагрузки на каркас здания при различном расположении несущих конструкций.

В итоге будет выбран оптимальный каркас здания. А также разработаны конструктивные решения для выбранного каркаса.

## **1.5 Выводы по главе 1**

Объектом исследования является вертолетный ангар пролетом 111 м. При создании расчетной схемы за аналог берется существующее здание, размеры и конструктивные решения принимаются самостоятельно: пролет, длина здания, размеры в осях, высота до низа несущих конструкций покрытия, типы решеток ригеля рамы, ферм, двухветвевых колонн.

При разработке расчетной модели (как для первого варианта каркаса, так и для второго варианта), в каркас здания были включены связи по покрытию, связи между колоннами в средней части здания.

Для расчета каркаса вертолетного ангара с различным расположением несущих конструкций используется ПК SCAD.

## Глава 2. Численные исследования каркасов с несущими элементами снаружи и внутри относительно кровельных ограждающих конструкций

### 2.1 Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций

#### 2.1.1 Описание конструктивного решения. Компоновка каркаса

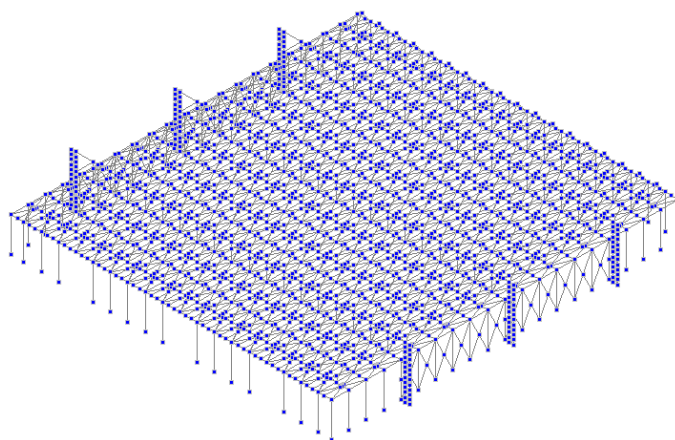
Схема несущего каркаса вертолетного ангара с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций представлена в графической части на листе 2.

Ангар имеет следующие геометрические характеристики: пролет- 111 м, длина здания- 120 м; высота до низа несущих конструкций- 12 м.

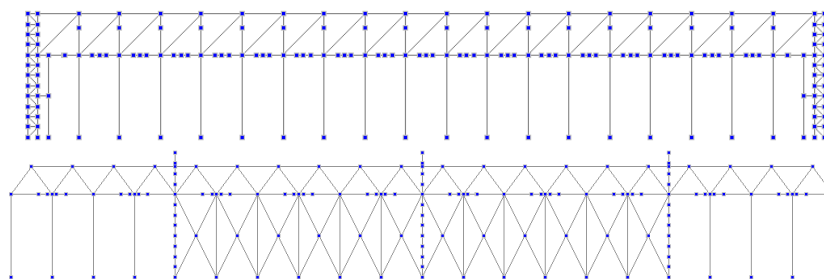
Каркас состоит из поперечных рам: ригель решетчатая конструкция с параллельными поясами. Шаг рам составляет 36 м. Высота ригеля- 6 м. К ригелям главной рамы крепятся небольшие фермы с треугольной решеткой высотой 4 м, которые раскрепляют ригель из плоскости. С торцов покрытия фермы имеют вылет 24 м.

Для исследования первый вариант ангара принят следующий

а)



б)



в)

а- изометрическая проекция; б- вид спереди; в- вид справа

Рисунок 9- Вертолетный ангар

## 2.1.2 Расчетная схема в ПК SCAD

Расчетная схема, собранная в ПК SCAD представлена на рисунке

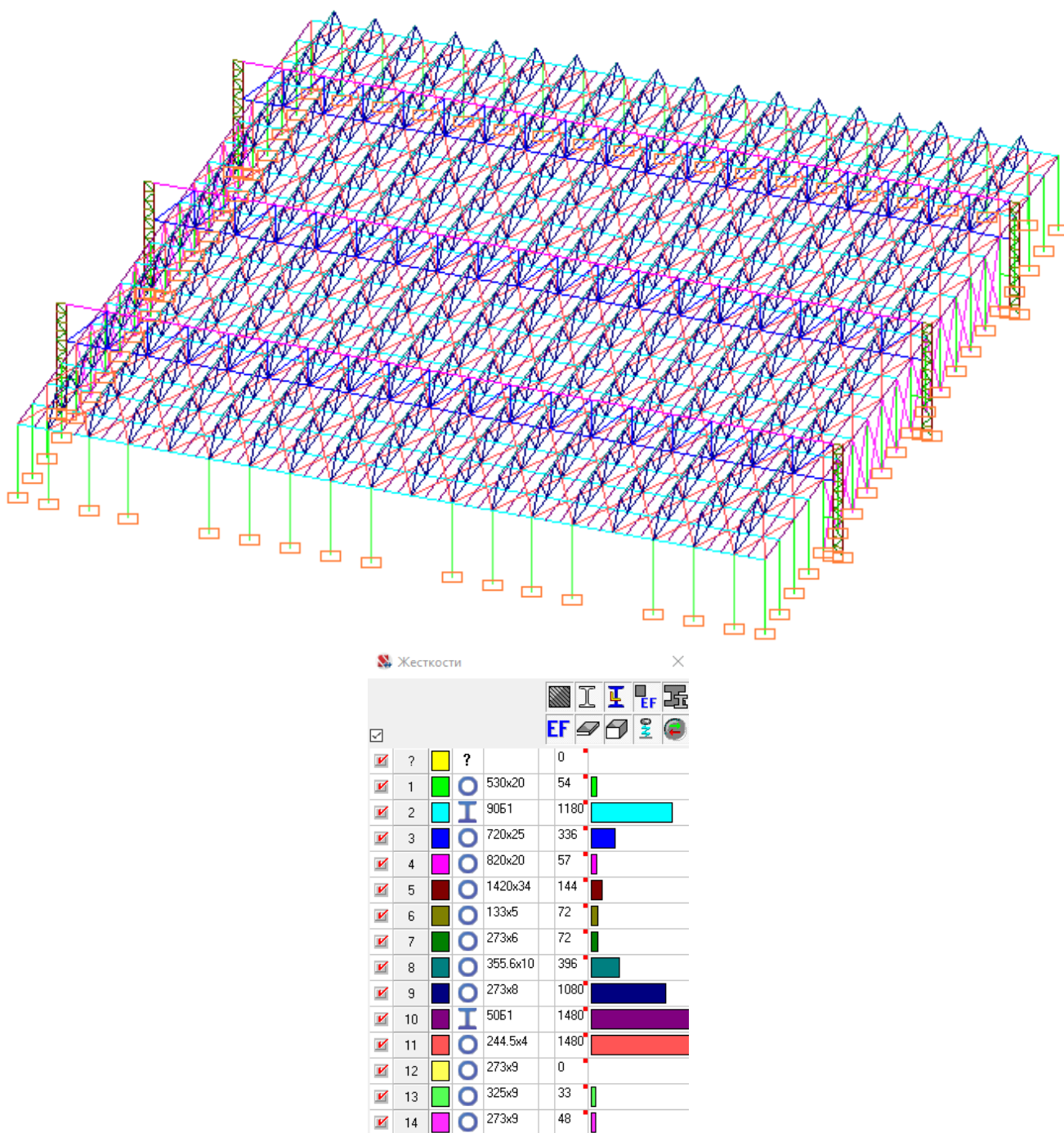


Рисунок 10- Расчетная схема вертолетного ангара первый вариант

Изначально для всех элементов задали жесткости, представленные на рисунке. Трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91 [12], а также трубы по ТУ 1381-103-05757848-2013 [13]. Прогоны и балки заданы двутавровым сечением 50Б1 и 90Б1 соответственно, по ГОСТ 26020-83 [11].

### 2.1.3 Сбор нагрузок

#### Постоянная нагрузка

#### Выбор ограждающих конструкций

В качестве ограждающих конструкций выбраны сэндвич-панели. Ангар необходимо сделать утепленным, для комфортного технического обслуживания вертолетов, а также для расположения авиатехники, хранения авиационного топлива, оборудования и материалов.

#### Расчет сопротивления теплопередаче стеновых сэндвич-панелей

Теплотехнический расчет будет производиться по [14].

Градусо-сутки отопительного периода будут определяться следующим образом:

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от}; \quad (9)$$

где  $t_{от}$ ,  $z_{от}$  - средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по [10] для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

$t_{в}$  - расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая по [15].

Определяем ГСОП по формуле 9 и получаем

$$ГСОП = (20 - (-6,6)) \cdot 234 = 6224,4 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}.$$

Далее, используя [14, табл. 3] в зависимости от вида здания или сооружения определим базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

$$R_0^{тр} = a \cdot ГСОП + b = 0,0002 \cdot 6224,4 + 1 = 2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}. \quad (10)$$

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определим по формуле

$$R_0^{норм} = R_0^{тр} \cdot m_p; \quad (11)$$

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

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



Вычисляем нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

$$R_0^{\text{норм}} = 2,24 \cdot 1 = 2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Стеновые сэндвич-панели используем согласно проекту по каталогу компании «ПанельСтрой». Согласно, теплоизоляционным характеристикам стеновых сэндвич-панелей  $R=2,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , для толщины сэндвич-панели 120 мм.

Расчет сопротивления теплопередаче кровельных сэндвич-панелей

Как и для стеновых панелей расчет производится по [14].

Определим градусо-сутки отопительного периода по формуле 9

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = (20 - (-6,6)) \cdot 234 = 6224,4 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}.$$

По [14, табл. 3] в зависимости от вида здания или сооружения определим базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по 10

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00025 \cdot 6224,4 + 1,5 = 3,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по 11 будет равно

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{ТР}} \cdot m_p = 3,06 \cdot 1 = 3,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Кровельные сэндвич-панели используем согласно проекту по каталогу компании «ПанельСтрой». Согласно, теплоизоляционным характеристикам кровельных сэндвич-панелей  $R=3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , для толщины сэндвич-панели 180 мм.

Нагрузка от стеновых сэндвич-панелей

Из предыдущего пункта толщина сэндвич-панели получилась 120 мм, утеплитель, используемый внутри панели, минеральная вата. Удельный вес для панели толщиной 120 мм и толщиной металла 0,7 мм равен  $25,62 \text{ кг/м}^2 = 0,26 \text{ кН/м}^2$ .

Прикладываем постоянную нагрузку на колонны и фахверки, учитывая шаг 6 м, получаем нагрузку

$$P = 0,26 \cdot 6 = 1,56 \text{ кН/м}.$$

### Нагрузка от кровельных сэндвич-панелей

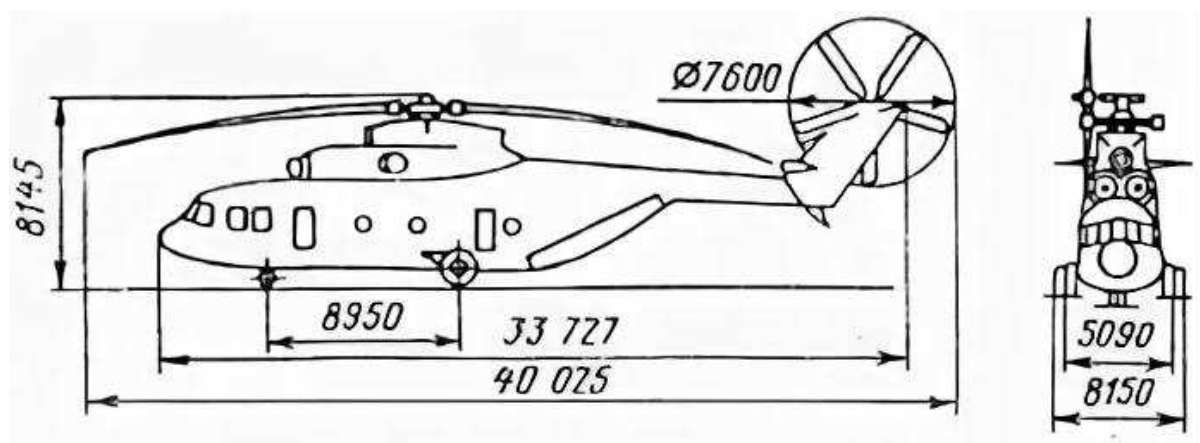
Для кровельных сэндвич-панелей толщина утеплителя получилась равна 180 мм, утеплитель, используемый внутри панели, минеральная вата. Удельный вес для панели толщиной 180 мм и толщиной металла 0,7 мм равен  $31,13 \text{ кг/м}^2 = 0,31 \text{ кН/м}^2$ .

Прикладываем постоянную нагрузку на ригели, учитывая их шаг 2 м, получаем нагрузку

$$P = 0,31 \cdot 2 = 0,62 \text{ кН/м.}$$

### Нагрузка от подъемных ворот

Размеры ворот выбираются в зависимости от габаритов самого большого вертолета, который будет заезжать в ангар. Это вертолет Ми-26. Он имеет параметры, показанные на рисунке



Рисунке 11- Параметры вертолета Ми-26

Следовательно, ширина ворот будет 12 м, так же ширина зависит от расположения фахверка. Количество ворот 3 шт. По проекту предусмотрены ворота «Атлант» ВПШ-40 (ворота подъемные шторные). Они разработаны для применения в промышленных условиях, и обладают хорошей износостойкостью, герметичностью, надежностью.

Нагрузка от ворот распределяется между точками крепления, расположенными с интервалом 1000 мм. Вес полотна ворот не превышает 40-200 кг на метр ширины, но с учетом возможных дополнительных внешних нагрузок общая нагрузка рассчитывается исходя из величины 2 кН на метр ширины. Следовательно, нагрузка от ворот учитывается как сосредоточенная через каждый метр закрепления ворот.

Ворота типа «Атлант» показаны на следующем рисунке



Рисунок 12- Ворота «Атлант»

#### Собственный вес

Чтобы учесть собственный вес используем в программе SCAD встроенные функции. Коэффициент надежности по нагрузке для металлических конструкций равен 1,05.

#### Временные нагрузки

##### Снеговая нагрузка

Снеговые нагрузки рассчитаны согласно [1, п. 10]. Согласно [1, прил. Б.1] учитываются две возможные схемы загрузки покрытия. Здание располагается в III снеговом районе ( $S_g = 1,5 \text{ кН/м}^2$ ).

Нормативное значение снеговой нагрузки определяется по формуле

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t; \quad (12)$$

где  $S_g = 1,5$  – нормативное значение веса снегового покрова на 1 м горизонтальной поверхности земли [1, табл. 10.1];

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

$c_e$  – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов [1, п.10.7].

Коэффициент, учитывающий снос снега определяется по формуле

$$c_e = (k_v - 0.4\sqrt{k})(0.8 + 0.002l_c) \quad (13)$$

где  $k_v = 1,3$ - коэффициент, зависящий от средней скорости ветра в зимний период и среднемесячной температуры воздуха в январе, [1, табл. 10.2];

$k = 1,05$ - коэффициент, зависящий от высоты над уровнем планировочной отметки земли, [1, табл. 11.2];

$l_c$  -характерный размер покрытия, принимаемый не более 100 м;

(для консольных частей  $l_c = 42,81$  м; для участков между рамами  $l_c = 60,32$  м);

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

Определение коэффициента  $\mu$  показано на рисунке 13

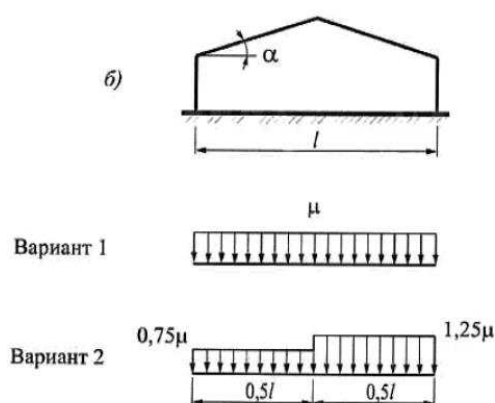


Рисунок 13– Значение коэффициента  $\mu$

### Вариант 1

Для частей вылетом 24 м

Определяем нормативное значение снеговой нагрузки по (12)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1 \cdot 0,788 \cdot 1 = 1,18 \text{ кН/м}^2.$$

В данной схеме ригели рам раскреплены по нижнему поясу прогонами. В дальнейшем для схемы 1 нижние прогоны, а для схемы 2 верхние прогоны. Снеговую нагрузку прикладываем к нижним прогонам. Для шага прогонов  $B=2$  м.

Нагрузку на прогоны определим по следующей формуле

$$q = S_0 \cdot B = 1,18 \cdot 2 = 2,36 \text{ кН/м.}$$

Снеговую нагрузку прикладываем к нижним прогонам. Для шага прогонов  $B=2,5$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,18 \cdot 2,5 = \mathbf{2,95} \text{ кН/м.}$$

Для участков между рамами

Определяем нормативное значение снеговой нагрузки по (12)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1 \cdot 0,819 \cdot 1 = 1,23 \text{ кН/м}^2.$$

Снеговую нагрузку прикладываем к нижним прогонам. Шаг прогонов  $B=2$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,23 \cdot 2 = \mathbf{2,46} \text{ кН/м.}$$

Снеговую нагрузку прикладываем к нижним прогонам. Шаг прогонов  $B=2,5$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,23 \cdot 2,5 = \mathbf{3,075} \text{ кН/м.}$$

Вариант 2

Для части вылетом 24 м

Определяем нормативное значение снеговой нагрузки по (12)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,788 \cdot 1 = 0,886 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,886 \cdot 2 = \mathbf{1,772} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,886 \cdot 2,5 = \mathbf{2,215} \text{ кН/м.}$$

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,788 \cdot 1 = 1,477 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,477 \cdot 2 = \mathbf{2,95} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,477 \cdot 2,5 = \mathbf{3,69} \text{ кН/м.}$$

Для участков между рамами

Определяем нормативное значение снеговой нагрузки по (12)

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,819 \cdot 1 = 0,92 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,92 \cdot 2 = \mathbf{1,84} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,92 \cdot 2,5 = \mathbf{2,3} \text{ кН/м.}$$

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,819 \cdot 1 = 1,535 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,535 \cdot 2 = \mathbf{3,07} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,535 \cdot 2,5 = \mathbf{3,84} \text{ кН/м.}$$

### Ветровая нагрузка

Ветровые нагрузки, действующие на покрытие, были так же учтены согласно [1, п. 11]. Здание располагается в III ветровом районе ( $w_0 = 0,38$  кПа).

Нормативное значение ветрового давления находим по формуле

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c; \quad (14)$$

где  $w_0 = 0,38$  кПа – нормативное значение ветрового давления [1, табл. 11.1];

$k$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $z_e$  [1, п.11.1.5]; При  $h \leq d$  эквивалентная высота  $z_e = h = 12$  м. Где  $d$  – поперечный размер здания,  $h$  – высота здания.

$c$  – аэродинамический коэффициент [1, прил. В.1.2].

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки учитывается в ПК SCAD.

### Ветровая нагрузка на стены

Распределение ветровой нагрузки на стены и значения аэродинамического коэффициента можно увидеть на следующих рисунках

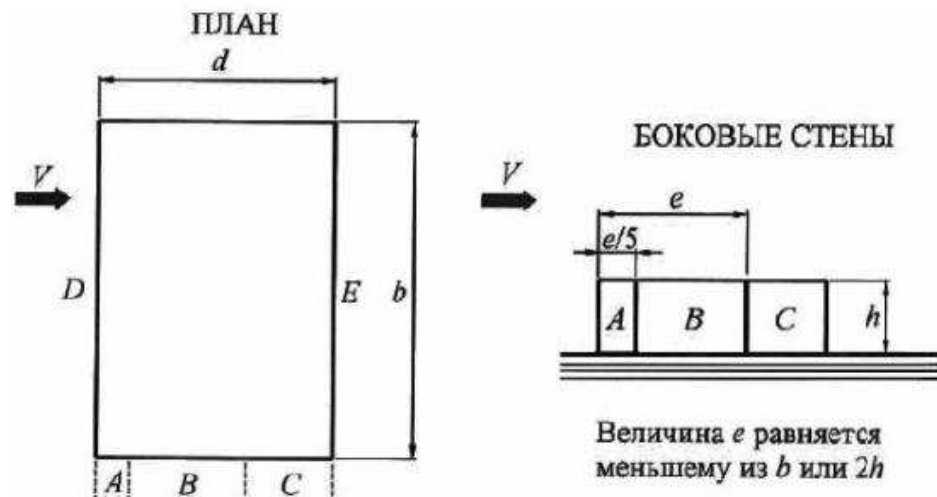


Рисунок 14– Ветер на стены

Боковые стены			Наветренная стена	Подветренная стена
Участки				
A	B	C	D	E
-1,0	-0,8	-0,5	0,8	-0,5

Рисунок 15- Значение коэффициента  $c$

### Ветер по оси X

Ветровая нагрузка для участков находится по (14)

$$A- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-1,0) = -0,39 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,8) = -0,32 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,19 \text{ кПа.}$$

A=4.8 м; B=19.2 м; C=87 м.

Ветровую нагрузку прикладываем к балке, B=12 м.

Нагрузка на балку находится по формуле

$$q = w_m \cdot B, \quad (15)$$

Находим нагрузку на балку для участков по (15)

$$A- q = w_m \cdot B = -0,39 \cdot 12 = -4,68 \text{ кН/м};$$

$$B- q = w_m \cdot B = -0,32 \cdot 12 = -3,84 \text{ кН/м};$$

$$C- q = w_m \cdot B = -0,19 \cdot 12 = -2,28 \text{ кН/м};$$

Ветровая нагрузка для участка

При  $z_e=12$  м;  $k(z_e)=1,05$

$$D- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,319 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,199 \text{ кПа.}$$

При  $z_e=18$  м;  $k(z_e)=1,2$

$$D- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 0,36 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

Ветровую нагрузку прикладываем к колоннам, шаг колонн B=6 м.

Нагрузка на стойки

$$q = w_m \cdot B, \quad (16)$$

При  $z_e=12$  м

$$D- q = w_m \cdot B = 0,319 \cdot 6 = 1,914 \text{ кН/м};$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,199 \cdot 6 = -1,194 \text{ кН/м};$$

При  $z_e=18$  м

$$D- q = w_m \cdot B = 0,36 \cdot 6 = 2,16 \text{ кН/м};$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 6 = -1,38 \text{ кН/м};$$

Ветер по оси Y

Ветровая нагрузка для участка

При  $z_e=12$  м;  $k(z_e)=1,05$

$$A- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-1,0) = -0,39 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,8) = -0,32 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,199 \text{ кПа.}$$

При  $z_e=18$  м;  $k(z_e)=1,2$

$$A- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-1,0) = -0,46 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,8) = -0,36 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

A=4,8 м; B=19,2 м; C=96 м.

Ветровую нагрузку прикладываем к колоннам, B=6 м.

Нагрузка на колонну находится по формуле

$$q = w_m \cdot B, \tag{17}$$

При  $z_e=12$  м

$$A- q = w_m \cdot B = -0,39 \cdot 6 = -2,34 \text{ кН/м;}$$

$$B- q = w_m \cdot B = -0,32 \cdot 6 = -1,92 \text{ кН/м;}$$

$$C- q = w_m \cdot B = -0,199 \cdot 6 = -1,194 \text{ кН/м;}$$

При  $z_e=18$  м

$$A- q = w_m \cdot B = -0,46 \cdot 6 = -2,76 \text{ кН/м;}$$

$$B- q = w_m \cdot B = -0,36 \cdot 6 = -2,16 \text{ кН/м;}$$

$$C- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 6 = -1,38 \text{ кН/м;}$$

Ветровая нагрузка для участка

$$D- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 0,32 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,05 \cdot (-0,5) = -0,199 \text{ кПа.}$$

Ветровую нагрузку прикладываем к балке, B=12 м.

По (15)

$$D- q = w_m \cdot B = 0,32 \cdot 12 = 3,84 \text{ кН/м;}$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,199 \cdot 12 = -2,39 \text{ кН/м.}$$



Ветровая нагрузка на ряд плоских параллельно расположенных решетчатых конструкций

Для ригелей основных рам

Для наветренной конструкции коэффициент  $c_{x1}$  определяется так же, как и для отдельно стоящей фермы по формуле

$$c_{x1} = \frac{1}{A_k} \sum c_{xi} A_i; \quad (18)$$

где  $c_{xi}$  - аэродинамический коэффициент  $i$ -го элемента конструкции, принимаемый равным 1,4 для профилей и определяемый в соответствии с указаниями [1, прил. В.1.12 и В.1.13] для элементов с круглым и прямоугольным поперечными сечениями, соответственно; при этом  $k_\lambda=1$ ;

$A_i$  - площадь проекции  $i$ -го элемента конструкции;

$A_k$  - площадь, ограниченная контуром конструкции (одна из секций рамы).

Аэродинамический коэффициент  $i$ -го элемента конструкции определяем по формуле

$$c_x = k_\lambda \cdot c_{x\infty}; \quad (19)$$

Число Рейнольдса  $R_e$  определяется по формуле

$$R_e = 0,88d \sqrt{w_0 k(z_e) \gamma_f} \cdot 10^5; \quad (20)$$

где  $d$  - диаметр трубы;

$w_0$  - нормативное значение ветрового давления [1, табл. 11.1];

$z_e$  - эквивалентная высота;

$k(z_e)$  - определяется в соответствии [1, п.11.1.6];

$\gamma_f = 1,4$  - коэффициент надежности по нагрузке.

Для второй и последующих конструкций аэродинамический коэффициент определяем по формуле

$$c_{x2} = c_{x1} \eta = 0,365 \cdot 0,5 = 0,182, \quad (21)$$

где  $\eta = 0,5$ .

Нагрузка на секцию нормативная определяется по формуле

$$Q = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c_x \cdot A = 0,38 \cdot 1,129 \cdot 0,182 \cdot 36 = 2,81 \text{ кН.}$$

Нагрузка по оси Y

Нагрузка на узел нормативная

$$Q/2=2,81/2=1.41 \text{ кН.}$$

Ветровая нагрузка на фермы

Для второй и последующих конструкций по (21)

$$c_{x2} = c_{x1}\eta = 0,119 \cdot 0,84 = 0,099.$$

где  $\eta = 0,84$ .

Нагрузка на секцию нормативная определяется по формуле

$$Q=w_0 \cdot k(ze) \cdot c_x \cdot A = 0.38 \cdot 1.106 \cdot 0.099 \cdot 12 = 0.499 \text{ кН.}$$

Нагрузка по оси X

Нагрузка на узел нормативная

$$Q/2=0.499/2=0.249 \text{ кН.}$$

Ветровая нагрузка на колонну решетчатую

Для второй и последующих конструкций

$$c_{x2} = c_{x1}\eta = 1,81 \cdot 0,15 = 0,27.$$

где  $\eta = 0,15$ .

Узловые нагрузки на ригель, на ферму, на колонну, на вторую и последующие колонны находятся в таблицах 2, 3, 4, 5 соответственно.

Таблица 2- Узловая нагрузка на ригель. По оси Y

Ниж. отм	Верх. отм.	K(z <sub>e</sub> )	Сторона l, м	Сторона h, м	Расст. между риг. b, м	A <sub>к</sub> , м <sup>2</sup>	Наим. Эл-та	Длина эл-та	Кол-во	Сечение эл-та, м		Сум. длина эл-та, м	A <sub>i</sub> , м <sup>2</sup>	R <sub>e</sub> 10 <sup>5</sup>	C <sub>xi</sub>	k <sub>λ</sub>	Δ/d *10 <sup>5</sup>	c <sub>х∞</sub>	C <sub>x</sub>	φ	b/h	Нагрузка на секцию нормат., кН  Q=w <sub>0</sub> · k(z <sub>e</sub> ) · c <sub>x</sub> · A (площадь одной секции)	Нагрузка на узел нормат., кН Q/2
										D	t												
12	18	1.129	120	6	36	684	Пояс	6	19	0.82	0.02	114	93.48	0.514	0.6	1	0.4	0.6	0.365	0.608	6	5,64	2,82
							Стойка	6	18	0.72	0.02	108	77.76		0.6	1	0.4	0.6					
							Раскос	8.49	40	0.72	0.025	339.6	244.51		0.6	1	0.4	0.6					

Таблица 3- Узловая нагрузка на ферму. По оси X

Ниж. отм	Верх. отм.	K(z <sub>e</sub> )	Сторона l, м	Сторона h, м	Расст. между риг. b, м	A <sub>к</sub> , м <sup>2</sup>	Наим. Эл-та	Длина эл-та	Кол-во	Сечение эл-та, м		Сум. длина эл-та, м	A <sub>i</sub> , м <sup>2</sup>	R <sub>e</sub> 10 <sup>5</sup>	C <sub>xi</sub>	k <sub>λ</sub>	Δ/d*10 <sup>5</sup>	c <sub>х∞</sub>	C <sub>x</sub>	φ	b/h	Нагрузка на секцию нормат., кН  Q=w <sub>0</sub> · k(z <sub>e</sub> ) · c <sub>x</sub> · A	Нагрузка на узел нормат., кН Q/2
										D	t												
12	16	1.106	120	4	12	480	Пояс	6	19	0.355	0.01	114	40.54	0.212	0.6	1	0.2	0.6	0.119	0.198	3	0.6	0.3
							Раскос	5	40	0.273	0.008	200	54.6		0.6	1	0.2	0.6					

Таблица 4- Узловая нагрузка на колонну. По оси Y

№ секции	Ниж. отм.	Верх. отм.	K(z <sub>e</sub> )	Сторона l, м	Сторона h, м	Расст. между риг. b, м	A <sub>к</sub> , м <sup>2</sup>	Наим. Эл-та	Длина эл-та	Кол-во	Сечение эл-та, м		Сум. длина эл-та, м	A <sub>i</sub> , м <sup>2</sup>	k <sub>λ</sub>	C <sub>x</sub>	φ	b/h	Нагрузка на секцию нормат., кН Q=w <sub>0</sub> · k(z <sub>e</sub> ) · c <sub>x</sub> · A	Нагрузка на узел нормат., кН Q/2
											D	t								
1	0	1.5	0.46	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	0.71	0.36
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
2	1.5	3	0.639	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	0.99	0.49
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
3	3	4.5	0.745	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.15	0.58
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
4	4.5	6	0.824	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.28	0.64
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					

Продолжение таблицы 4

№ секции	Ниж. отм	Верх. отм.	K(z <sub>e</sub> )	Сто- рона l, м	Сто- рона h, м	Расст. между риг. b, м	A <sub>к</sub> , м <sup>2</sup>	Наим. Эл-та	Длина эл-та	Кол- во	Сечение эл- та, м		Сум. длина эл-та, м	A <sub>i</sub> , м <sup>2</sup>	k <sub>λ</sub>	C <sub>x</sub>	φ	b/h	Нагрузка на секцию нормат., кН Q=w <sub>0</sub> · k(z <sub>e</sub> ) · c <sub>x</sub> · A	Нагрузка на узел нормат., кН Q/2
											D	t								
5	6	7.5	0.889	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.38	0.69
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
6	7.5	9	0.944	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.46	0.73
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
7	9	10.5	0.992	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.54	0.77
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
8	10.5	12	1.036	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.6	0.8
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					

Окончание таблицы 4

№ секции	Ниж. отм	Верх. отм.	K(z <sub>e</sub> )	Сторона l, м	Сторона h, м	Расст. между риг. b, м	A <sub>к</sub> , м <sup>2</sup>	Наим. Эл-та	Длина эл-та	Кол-во	Сечение эл-та, м		Сум. длина эл-та, м	A <sub>i</sub> , м <sup>2</sup>	k <sub>λ</sub>	C <sub>x</sub>	φ	b/h	Нагрузка на секцию нормат., кН Q=w <sub>0</sub> · k(z <sub>e</sub> ) · c <sub>x</sub> · A	Нагрузка на узел нормат., кН Q/2
											D	t								
9	12	13.5	1.076	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.66	0.83
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
10	13.5	15	1.112	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.72	0.86
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
11	15	16.5	1.146	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.77	0.89
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					
12	16.5	18	1.178	1.5	1.5	36	2.25	Пояс	1.5	1	1.42	0.034	1.5	2.13	1	1.81	1.293	1	1.82	0.91
								Стойка	1.5	1	0.133	0.005	1.5	0.199	1					
								Раскос	2.12	1	0.273	0.006	2.12	0.579	1					

Таблица 5- Узловая нагрузка на вторую и последующие колонны

№ секции	$w_0$	$k(z_e)$	$c_x$	$\eta$	$c_{x2}$	A	Q	Q/2
1	0.38	0.46	1.81	0.15	0.27	2.25	0.11	0.055
2		0.639					0.15	0.075
3		0.745					0.17	0.085
4		0.824					0.19	0.095
5		0.889					0.21	0.105
6		0.944					0.22	0.11
7		0.992					0.23	0.115
8		1.036					0.24	0.12
9		1.076					0.25	0.125
10		1.112					0.26	0.13
11		1.146					0.26	0.13
12		1.178					0.27	0.135

*Ветровая нагрузка на покрытие (на нижние прогоны)*

Вычисление по программе ВЕСТ

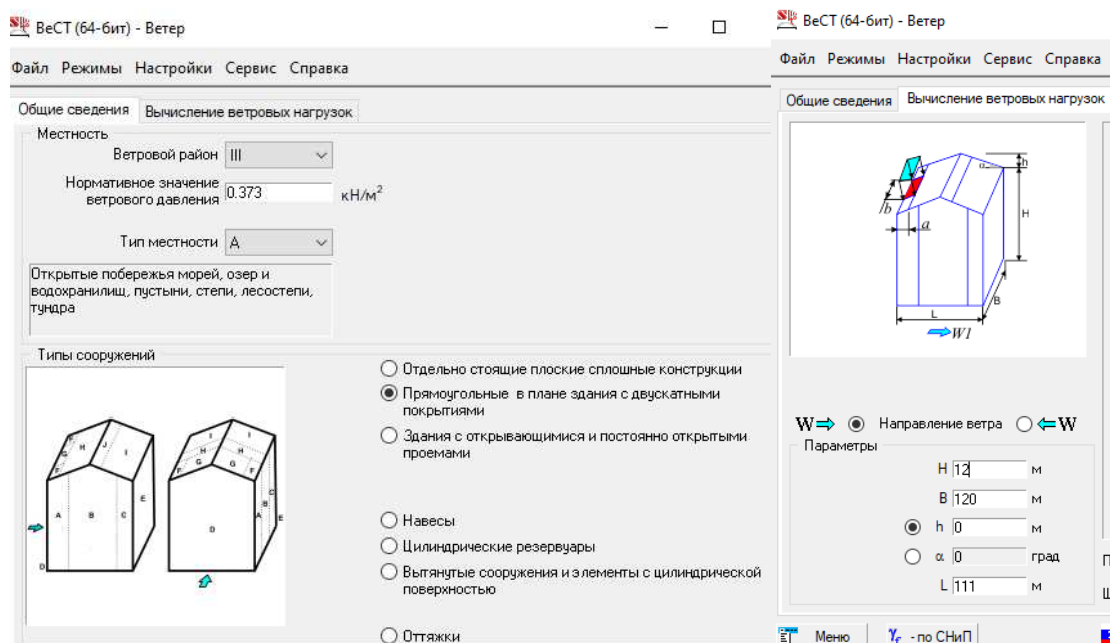


Рисунок 16- Ветровая нагрузка на покрытие в программе ВЕСТ

## Расстояния на кровле

$$e=2h=2*12=24 \text{ м}$$

$$e/4=24/4=6 \text{ м}; e/10=24/10=2.4 \text{ м.}$$

$$G=120-6-6=108 \text{ м.}$$

$$H=111/2-2.4=53.1 \text{ м.}$$

Распределение ветровой нагрузки на покрытии показано на рисунке



Рисунок 17- Распределение ветровой нагрузки на покрытие

Ветровая нагрузка на покрытие по оси x представлена в таблице 6

Таблица 6- Ветровая нагрузка на покрытие

Расстояние на кровле, м	Нормативное значение нагрузки, кН/м <sup>2</sup>	Приложена на прогоны, кН/м <sup>2</sup>
F (2.4x6 м)	0,709	0,709*2=1,418
G (2.4x108 м)	0,512	0,512*2=1.024
H (53.1)	0,276	0,276*2=0.552
J (2.4 м)	0,197	0,197*2=0,394
I (53.1 м)	0,197	0,197*2=0,394



18 Приложение ветровой нагрузки на покрытие по оси Y показано на рисунке

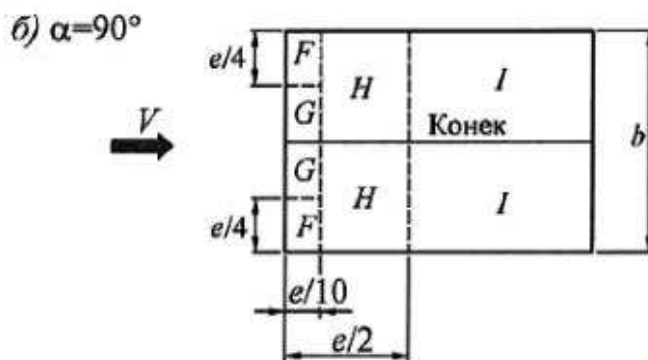


Рисунок 18- Распределение ветровой нагрузки на покрытие

Расстояния на кровле

$$e=2h=2*12=24 \text{ м}$$

$$e/4=24/4=6 \text{ м}; e/10=24/10=2.4 \text{ м.}$$

$$2G=99 \text{ м}$$

$$H=9.6 \text{ м. } I=108 \text{ м.}$$

Ветровая нагрузка на покрытие по оси y представлена в таблице 7

Таблица 7- Ветровая нагрузка на покрытие

Расстояние на кровле, м	Нормативное значение нагрузки, кН/м <sup>2</sup>	Приложена на прогоны, кН/м <sup>2</sup>
F	0,709	0,709*2=1,418
G	0,512	0,512*2=1.024
H	0,276	0,276*2=0,552
I	0,197	0,197*2=0,394

Задание пульсационной составляющей нагрузки учитывается в ПК SCAD, согласно рисунку 19

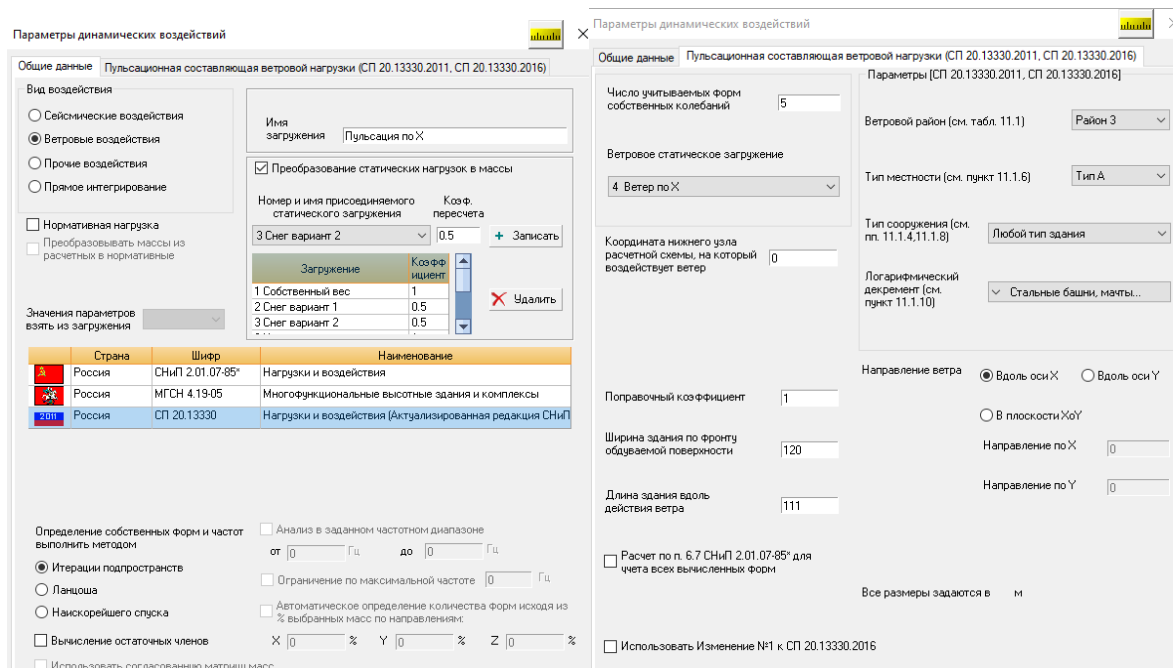


Рисунок 19- Параметры пульсационного ветрового воздействия

## 2.1.4 Задание комбинаций нагрузок и РСУ

На следующем рисунке можно увидеть составленные комбинации загружений

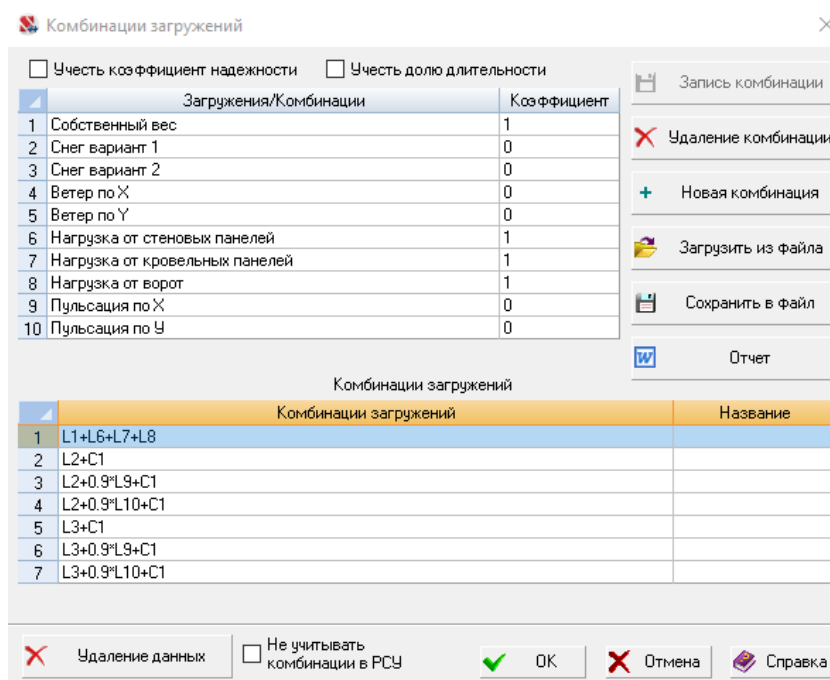


Рисунок 20- Комбинации нагрузок

## Задание РСУ показано на рисунке 21

Расчетные сочетания усилий и перемещений

№	Активное нагружение	Активное нагружение в РСР	Наименование	Тип нагружения	Вид нагрузки	Знакопременные	Объединения	Участуют в групповых операциях		Коеф. надежности	Доля длительности	Кoeffициенты			
								Объединения	Замкнутые			K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Собственный вес	Постоянные на	Вес металличе	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.05	1	0	0	0	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Снег вариант 1	Кратковремен	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4	0.5	1	0	0	0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Снег вариант 2	Кратковремен	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4	0.5	1	0	0	0
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ветер по X	Кратковремен	Ветровые нагр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.4	0	1	0	0	0
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ветер по Y	Кратковремен	Ветровые нагр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.4	0	1	0	0	0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Нагрузка от стено	Постоянные на	Вес бетонных к	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.1	1	1	0	0	0
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Нагрузка от кров	Постоянные на	Вес бетонных к	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.1	1	1	0	0	0
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Нагрузка от ворот	Постоянные на	Вес бетонных к	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.1	1	1	0	0	0
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Пульсация по X	Кратковремен	Ветровые нагр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4	0	1	0	0	0
10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Пульсация по Y	Кратковремен	Ветровые нагр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4	0	1	0	0	0
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L1+L6+L7+L8	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L2+C1	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L2+0,9%L9+C1	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L2+0,9%L10+C1	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L3+C1	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L3+0,9%L9+C1	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L3+0,9%L10+C1	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1	1	0	0	0

Загружения ■ не могут входить в сочетания без загружений ■

Шаг ориентации площадок при анализе пластин: 15 град

Параметры:

Связи загружений:

Типы сооружений (при учете сейсмич):  Гражданские и промышленные  Транспортные

Взаимоисключающие загрузки

№	Наименование	2	3	9	10
2	Снег вариант 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Снег вариант 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Пульсация по X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Пульсация по Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Все

Рисунок 21- Задание РСУ

## 2.1.5 Приложение основных нагрузок

Собственный вес задается автоматически в программе SCAD.

Нагрузка от ограждающих стеновых конструкций (от сэндвич-панелей), прикладывается к колоннам и фахверку. Карта распределения нагрузки от стеновых сэндвич-панелей на рисунке 22

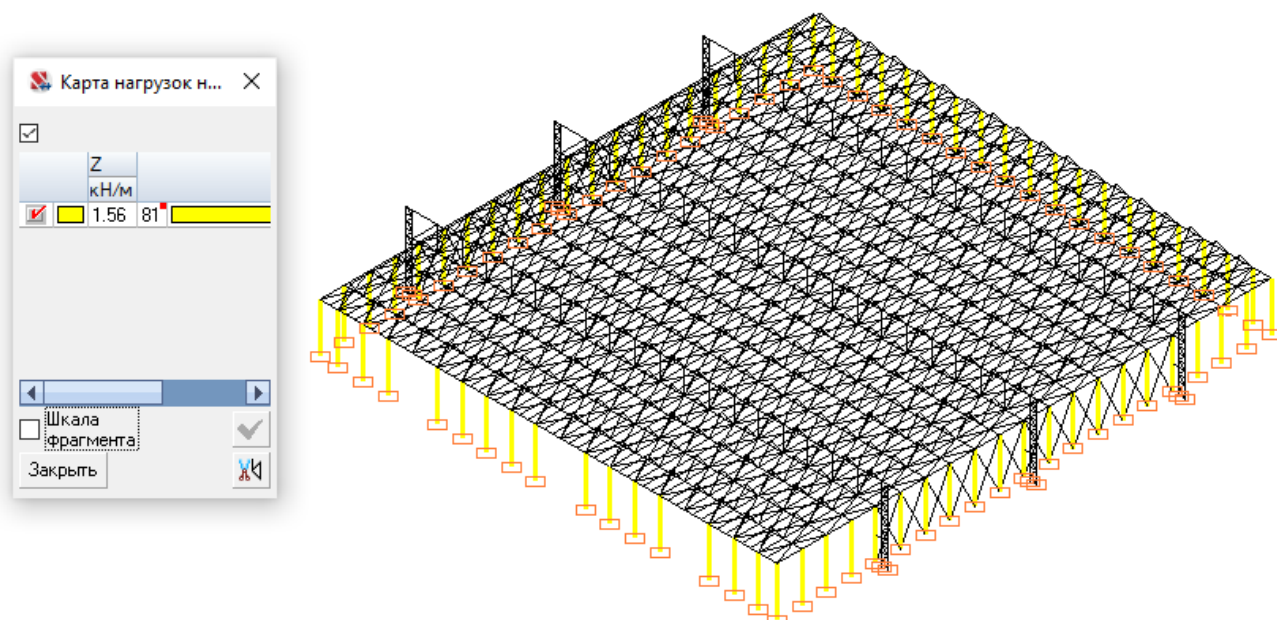


Рисунок 22- Карта распределения нагрузки от стеновых сэндвич-панелей

Нагрузка от сэндвич-панелей покрытия, прикладывается к прогонам.

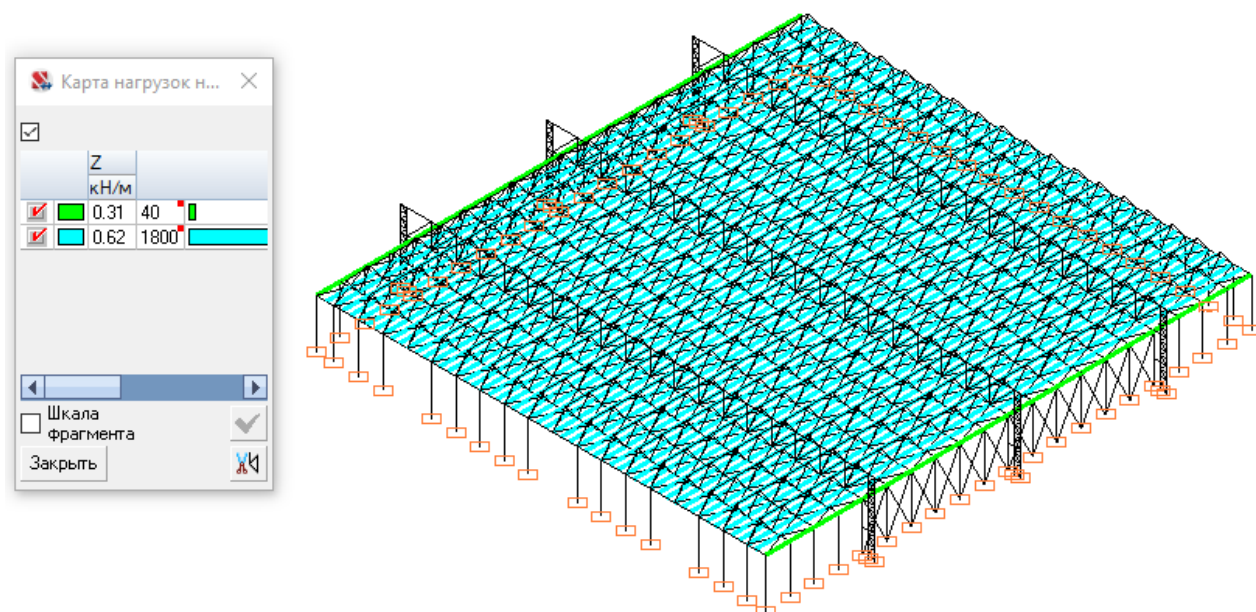


Рисунок 23- Карта распределения нагрузки от кровельных сэндвич-панелей

Нагрузка от подвесных ворот, прикладывается на балку в виде сосредоточенных нагрузок, в месте крепления ворот.

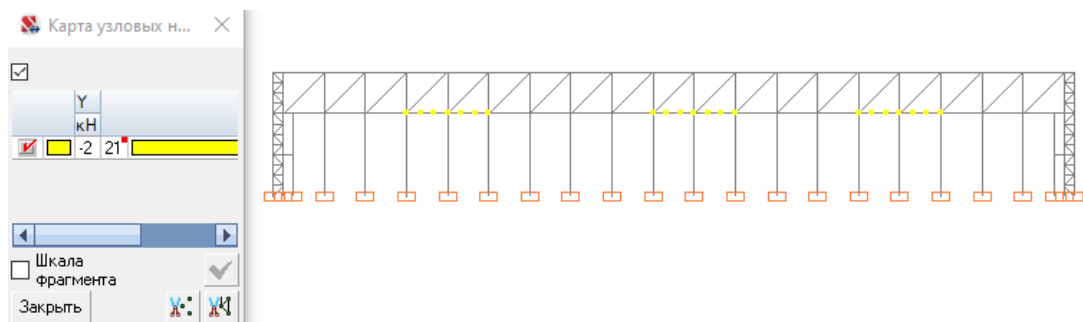


Рисунок 24- Карта распределения нагрузки от подвесных ворот

Далее прикладываем снег по первому варианту

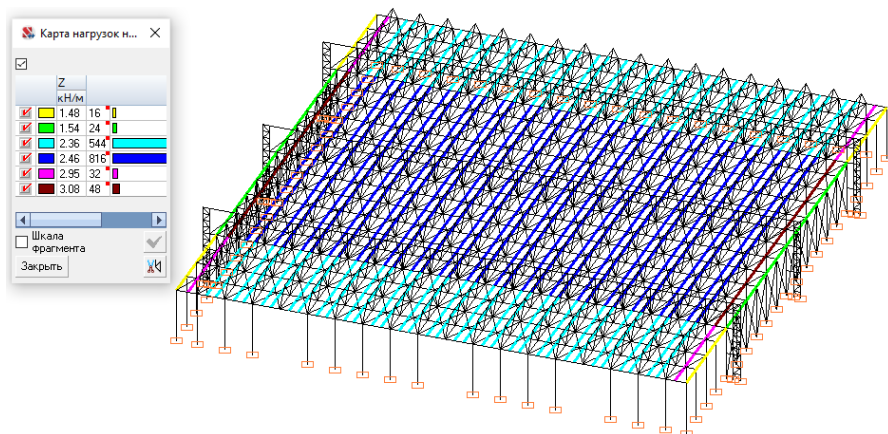


Рисунок 25- Карта распределения нагрузки от снега по первому варианту

При первом варианте снегового загрузения снег на покрытие распределяется равномерно. При втором варианте распределение происходит неравномерно, с одной стороны, больше, со второй меньше.

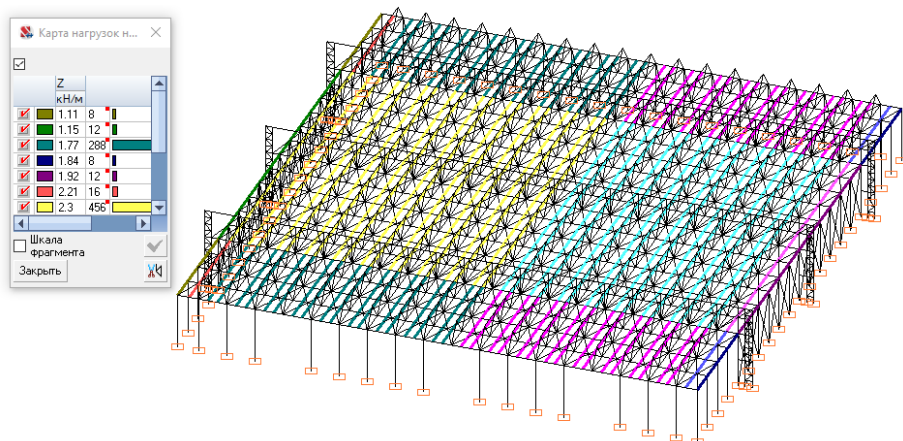


Рисунок 26- Карта распределения нагрузки от снега по второму варианту

Ветровая нагрузка приложена к колоннам и балкам, а также в связи с тем, что есть наружные несущие конструкции ветер прикладывается на плоские решетчатые параллельно расположенные конструкции, в узлы. Ветровые нагрузки по осям X и Y показаны на рисунке 27, 28

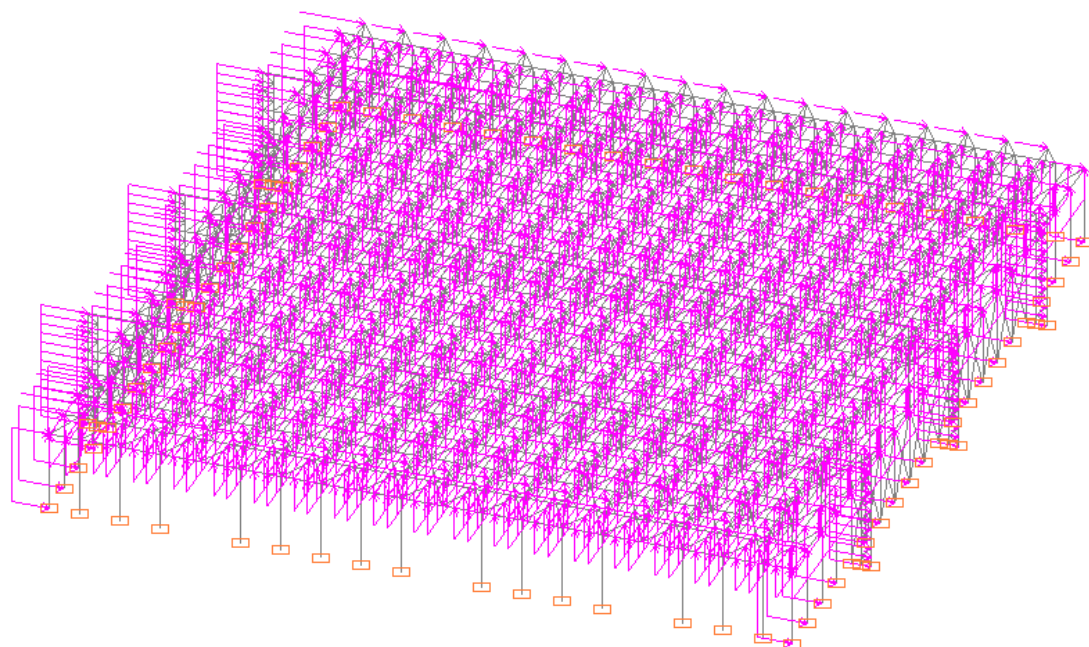


Рисунок 27- Распределение ветра по оси X

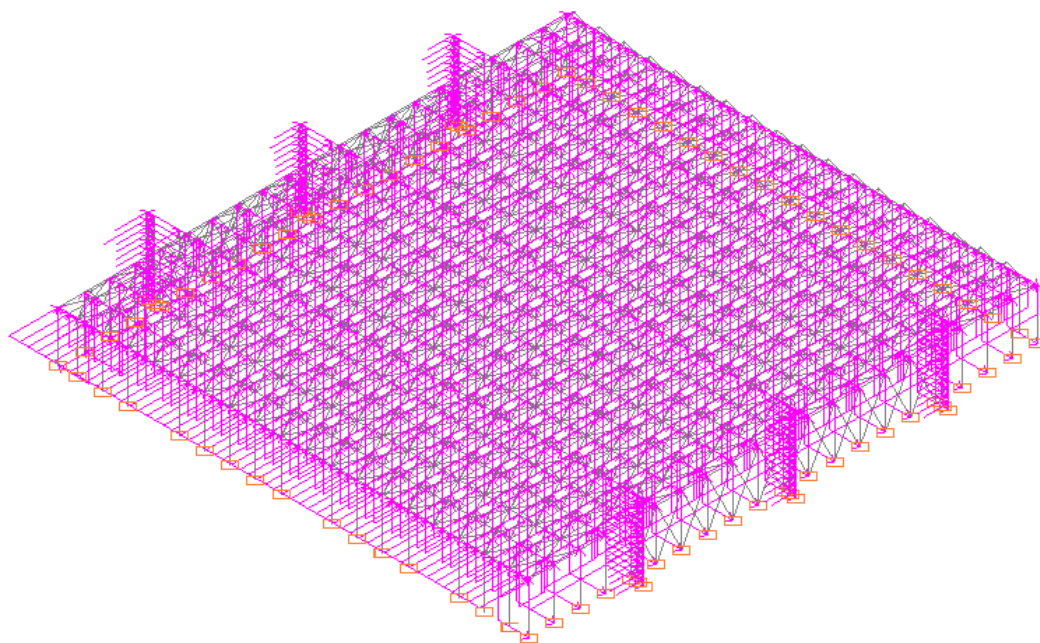


Рисунок 28- Распределение ветра по оси Y

Статическая ветровая нагрузка и задание пульсационной составляющей показано в пункте 2.1.3.

## 2.1.6 Подбор сечений

Предварительно для всех элементов заданы следующие жесткости трубы электросварные прямошовные по [12], а также трубы по [13]. Прогоны и балки заданы двутавровым сечением 50Б1 и 90Б1 соответственно, по [11].

Элементы расчетной схемы были унифицированы на 99 групп для того, чтобы подобрать единое сечение для элементов каждой группы.

Проведя расчет по изначально заданным сечениям, получили следующие результаты

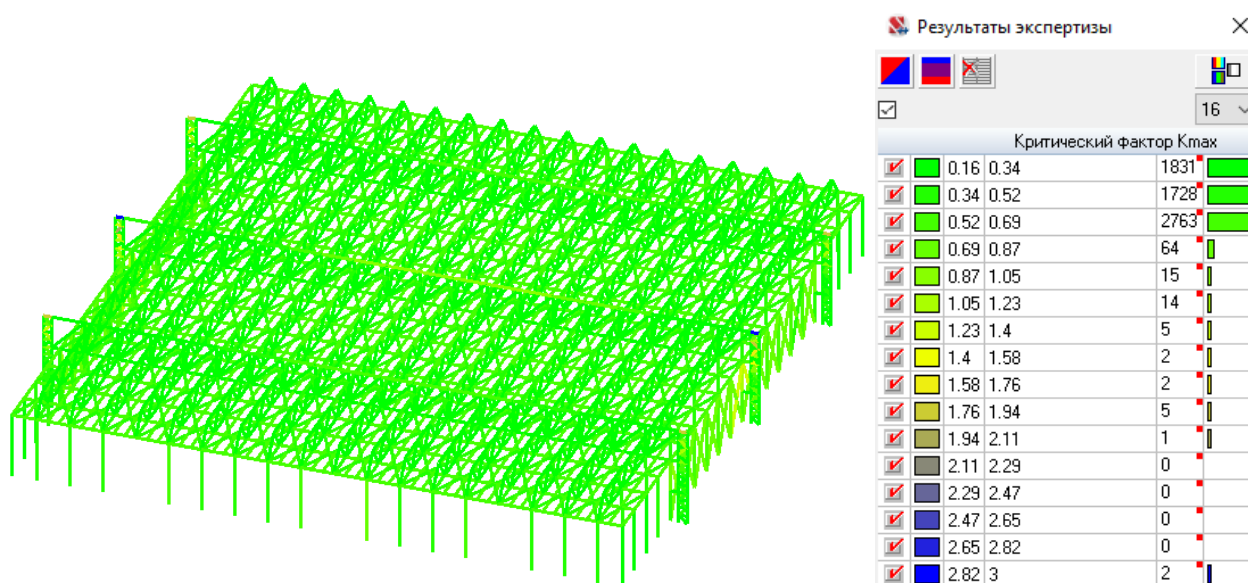


Рисунок 29- Критический фактор при начальных сечениях

Из рисунка 29, можно увидеть, что в большинстве элементов критический фактор не превышает 1. Но есть и такие элементы, в которых он все-таки достиг значения больше, чем 1 (например, элементы решетчатых колоннах, некоторые связи между колоннами).

Для предотвращения перерасхода материала у элементов с критическим фактором намного меньше 1 и определения оптимального сечения для элементов с тах критическим фактором, производим подбор сечений в SCAD. Расчет будет проводиться несколько раз.

Результаты после подбора сечений следующие

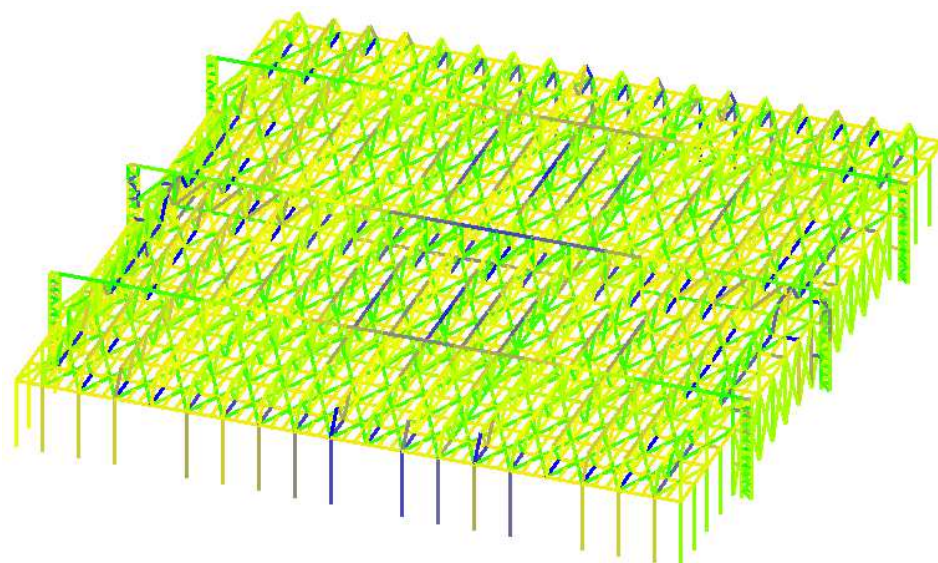


Рисунок 30- Результат подбора сечений для схемы 1

Критический фактор Kmax				
<input checked="" type="checkbox"/>	0.11	0.16	35	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.16	0.21	60	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.21	0.27	1235	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.27	0.32	199	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.32	0.37	340	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.37	0.43	635	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.43	0.48	225	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.48	0.53	375	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.53	0.58	2886	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.58	0.64	210	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.64	0.69	90	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.69	0.74	36	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.74	0.8	44	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.8	0.85	41	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.85	0.9	25	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.96	44	

Рисунок 31- Критический фактор для схемы 1



После подбора сечений для варианта ангара 1 были назначены жесткости, которые показаны на рисунках 32, 33

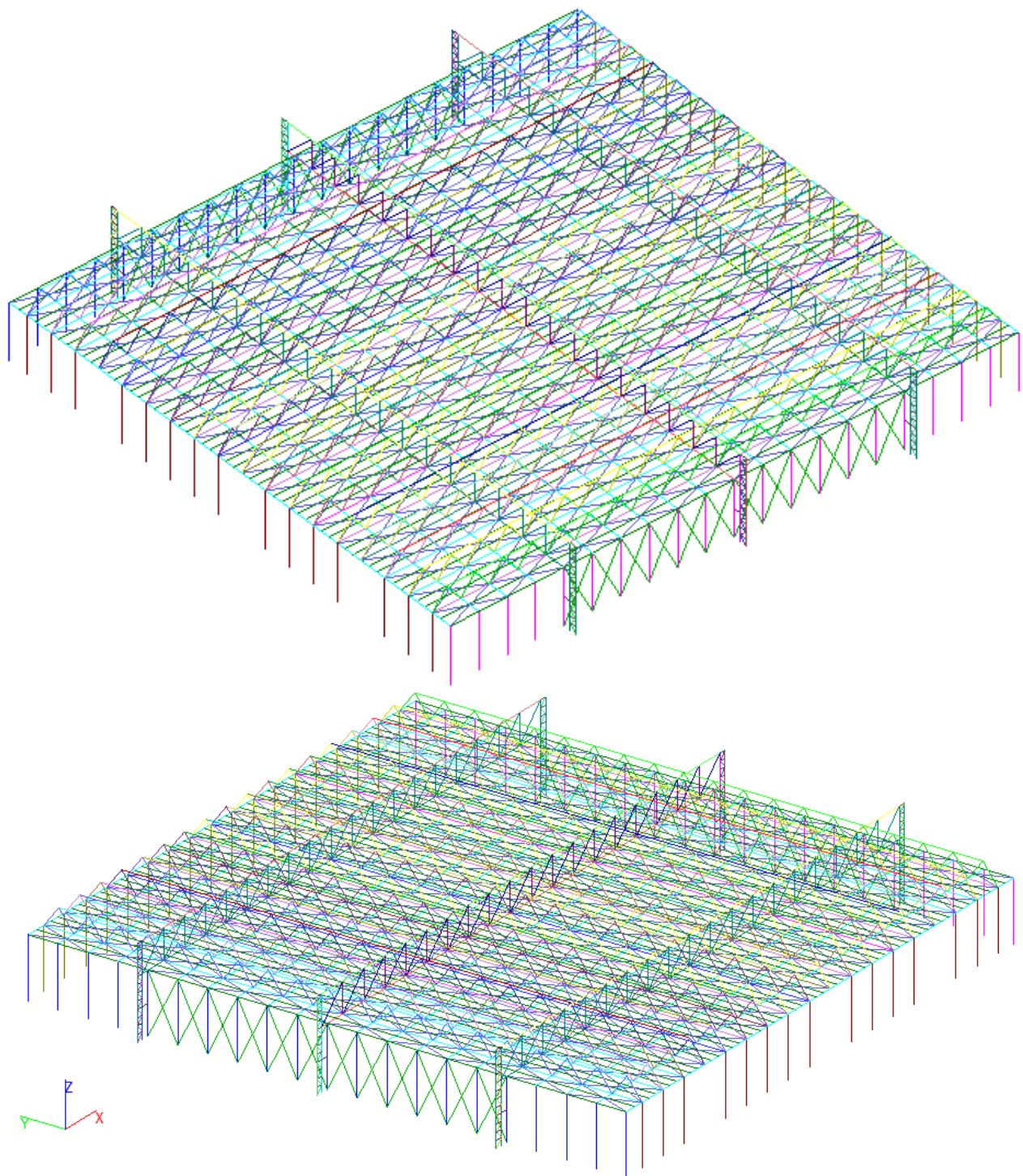


Рисунок 32- Жесткости для схемы 1

Жесткости				23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63							
?	?		0	193.7x8	193.7x8	244.5x9	127x2	140x2	140x3	108x2	159x8	244.5x8	530x28	630x18	720x24	820x15	244.5x6	244.5x5	478x12	426x12	244.5x8	159x8	114x5.5	377x10	355.6x9	159x8	60x3.8	530x20	377x4.5	273x9	193.7x8	127x5.5	140x5.5	152x5	133x5.5	177.8x7	127x5.5	159x2	193.7x2.5	193.7x2.8	159x6	630x34	177.8x8	219x3.2							
1	720x7	0	0	22	182	22	100	40	20	0	40	40	12	0	12	12	12	12	12	12	12	12	24	12	12	6	19	22	0	22	20	180	20	60	20	20	40	120	80	40	12	12	1480								
2	10064	1180																																																	
3	1420x18	24																																																	
4	1420.0x24.0	24																																																	
5	377x4	15																																																	
6	325x4	40																																																	
7	4061	1480																																																	
8	530x8	320																																																	
9	630x15	19																																																	
10	530x18	36																																																	
11	720x25	57																																																	
12	530x18	19																																																	
13	1220x24	19																																																	
14	193.7x6	22																																																	
15	193.7x6	102																																																	
16	193.7x6	22																																																	
17	219x2.5	22																																																	
18	244.5x8	22																																																	
19	273x9	184																																																	
20	325x4	44																																																	
21	244.5x9	22																																																	
22	219x3	0																																																	

Рисунок 33- Жесткости для схемы 1

## 2.1.7 Расчет каркаса здания на особые нагрузки

### Пожар

По [9] ангар относится к зданиям производственного и складского назначения, класс функциональной пожарной опасности Ф5, категория помещения В1-В3, класс конструктивной пожарной опасности здания С0, степень огнестойкости здания II.

По [9] в зависимости от объема помещения (более 80 тыс. м<sup>3</sup>) и плотности людского потока в общем проходе, чел/м<sup>2</sup> ( св. 3 до 5) расстояние между эвакуационными выходами не более 100 м. Ширину эвакуационного выхода (двери) из коридора наружу или в лестничную клетку следует принимать в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход и количества людей на 1 м ширины выхода (двери), но не менее 0,8 м, при наличии работающих инвалидов с нарушениями опорно-двигательного аппарата - не менее 0,9 м.

На рисунке 34 показана схема расположения эвакуационных выходов.

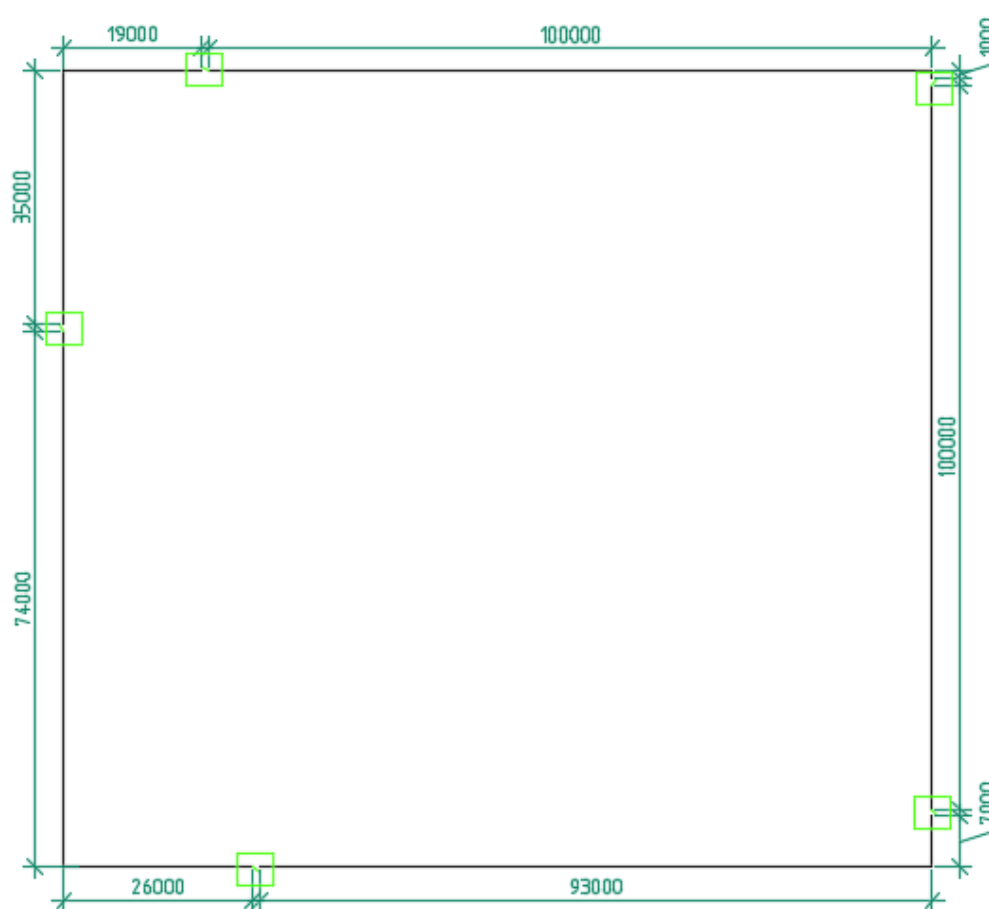


Рисунок 34- Схема расположения эвакуационных выходов

Соответствие степени огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков, и предела огнестойкости применяемых в них строительных конструкций приведено на рисунке 35.

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется

Рисунок 35- Предел огнестойкости для строительных конструкций

Исходя из данной таблицы порядок выхода из строя конструкций следующий

- 1) Балки- R15;

- 2) Прогоны и нижний пояс ригеля рамы- R15;
- 3) Связи по покрытию- R30;
- 4) Связи между колоннами- R30;
- 5) Колонны- R90.

Обнуляем жесткости в порядке, указанном выше.

В результате получаются следующие результаты для каркаса здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций

- 1) Обнуление жесткостей у балок

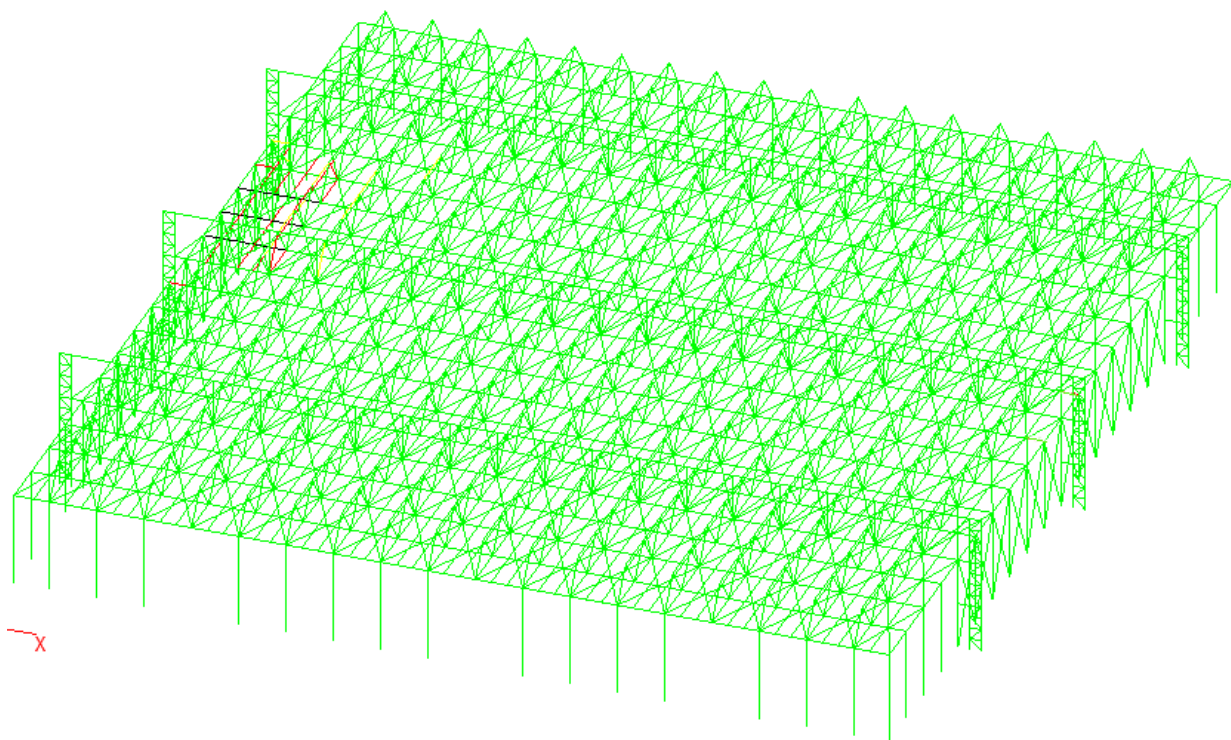


Рисунок 36- Критический фактор для каркаса здания 1 при выходе из строя балок

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0.11	0.9	6423	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0.9	1.1	11	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	1.1	2.68	27	■

Рисунок 37- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

2) Обнуление жесткостей у прогонов и нижнего пояса ригеля рамы

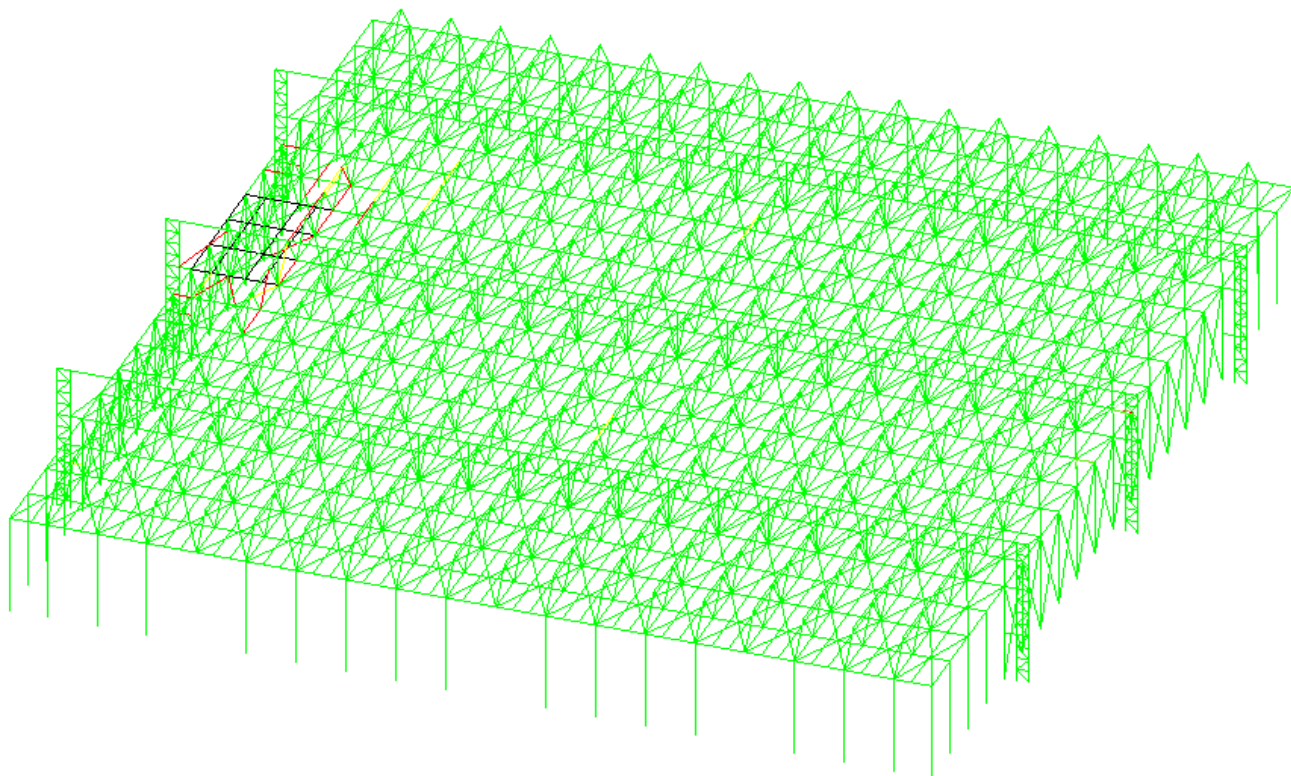


Рисунок 38- Критический фактор для каркаса здания 1 при выходе из строя прогонов и нижнего пояса ригеля рамы

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.9	6398	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.9	1.1	13	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.1	2.76	24	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 39- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

3) Обнуление жесткостей у связей по покрытию

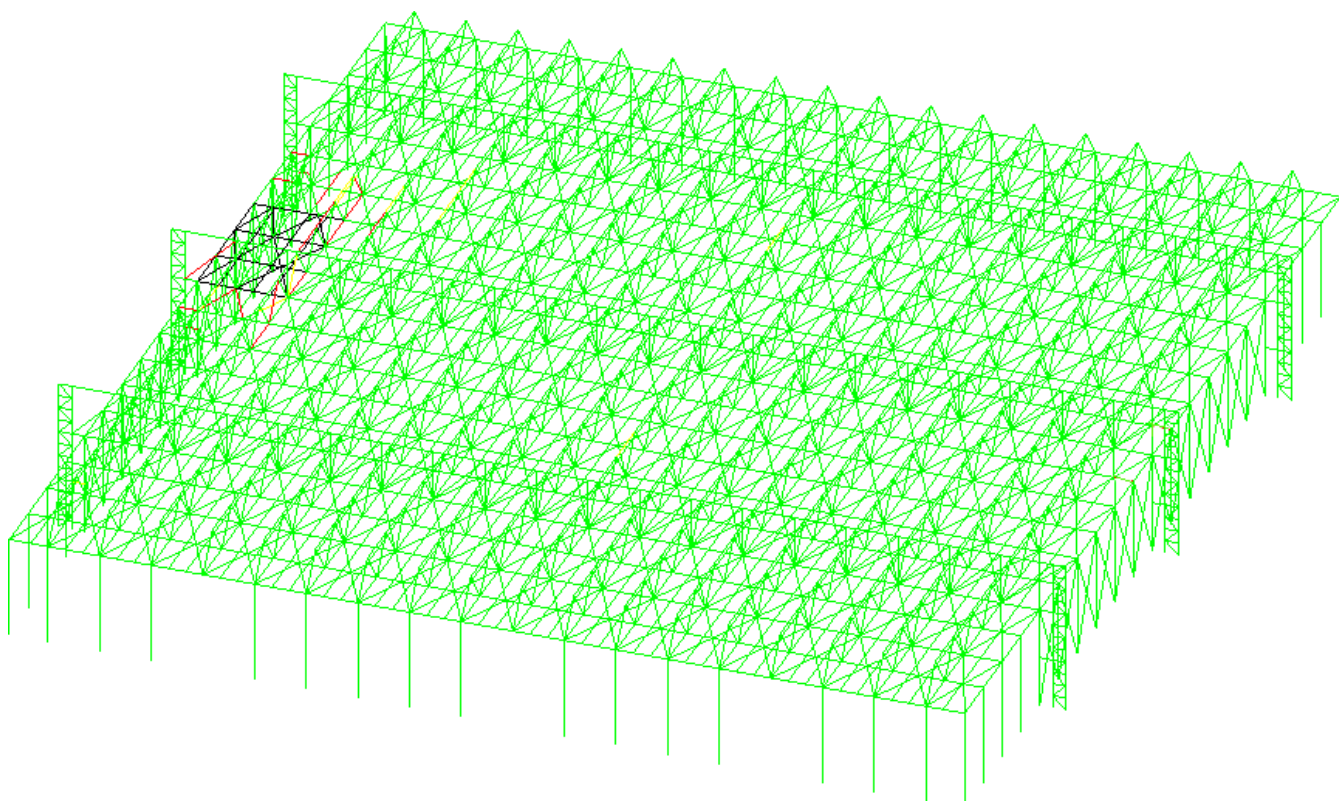


Рисунок 40- Критический фактор для каркаса здания 1 при выходе из строя связей по покрытию

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="background-color: green; color: black;"> </span>	0.11	0.9	6379	<span style="background-color: green; color: black;"> </span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="background-color: yellow; color: black;"> </span>	0.9	1.1	13	<span style="background-color: yellow; color: black;"> </span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="background-color: red; color: black;"> </span>	1.1	2.76	22	<span style="background-color: red; color: black;"> </span>

Рисунок 41- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

4) Обнуление жесткостей у связей между колоннами

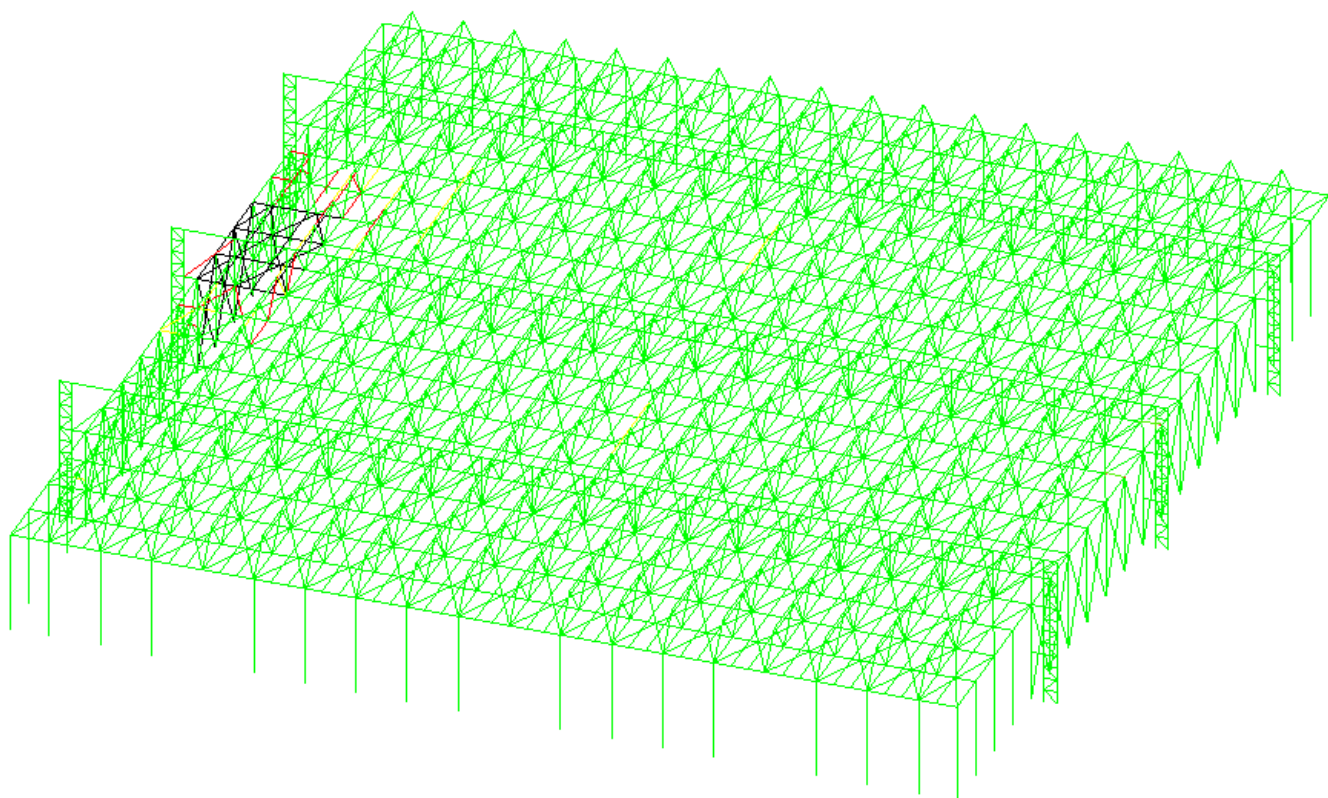


Рисунок 42- Критический фактор для каркаса здания 1 при выходе из строя связей между колоннами







Критический фактор $K_{max}$					
<input checked="" type="checkbox"/>		0.11	0.9	6355	
<input checked="" type="checkbox"/>		0.9	1.1	22	
<input checked="" type="checkbox"/>		1.1	2.84	25	

Рисунок 43- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

## 5) Обнуление жесткостей у колонн

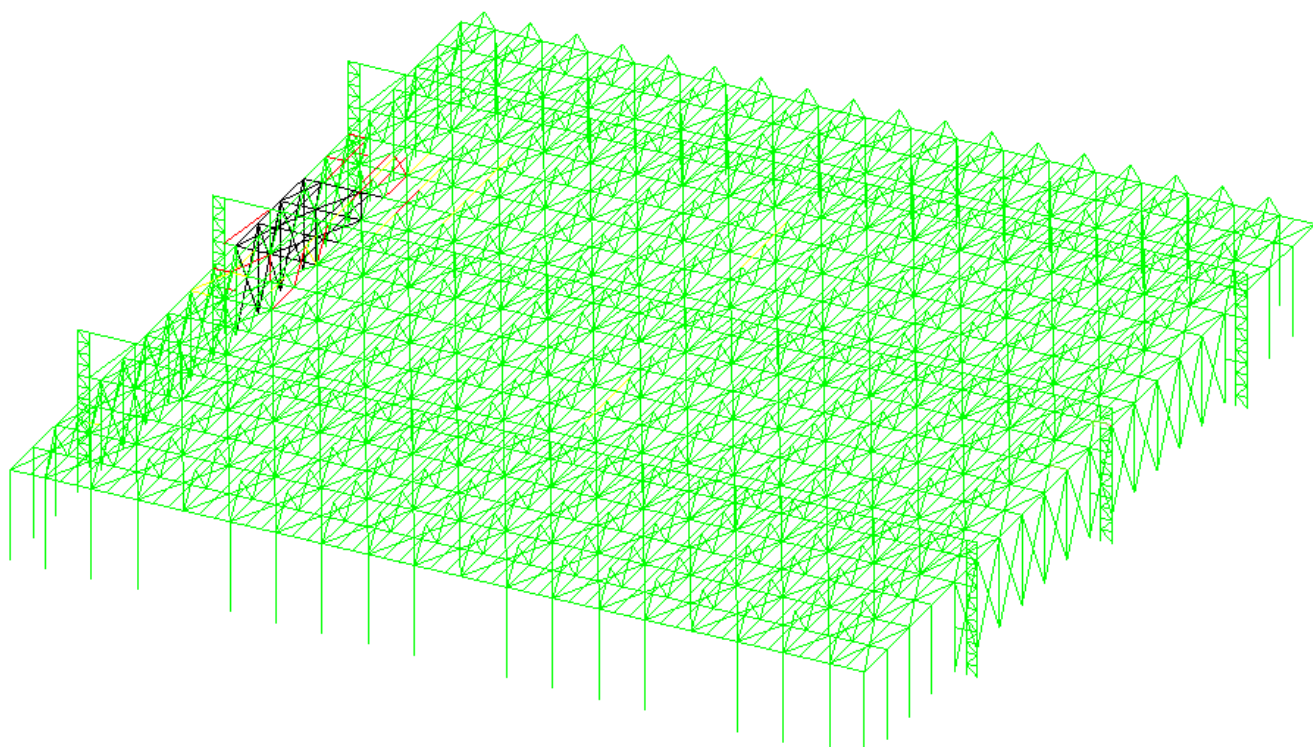


Рисунок 44- Критический фактор для каркаса здания 1 при выходе из строя колонн







Критический фактор $K_{max}$						
<input checked="" type="checkbox"/>		0.11	0.9		6352	
<input checked="" type="checkbox"/>		0.9	1.1		22	
<input checked="" type="checkbox"/>		1.1	2.84		25	

Рисунок 45- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя



На следующем рисунке представлены деформации схемы, возникшие в результате выхода из строя конструкций во время пожара

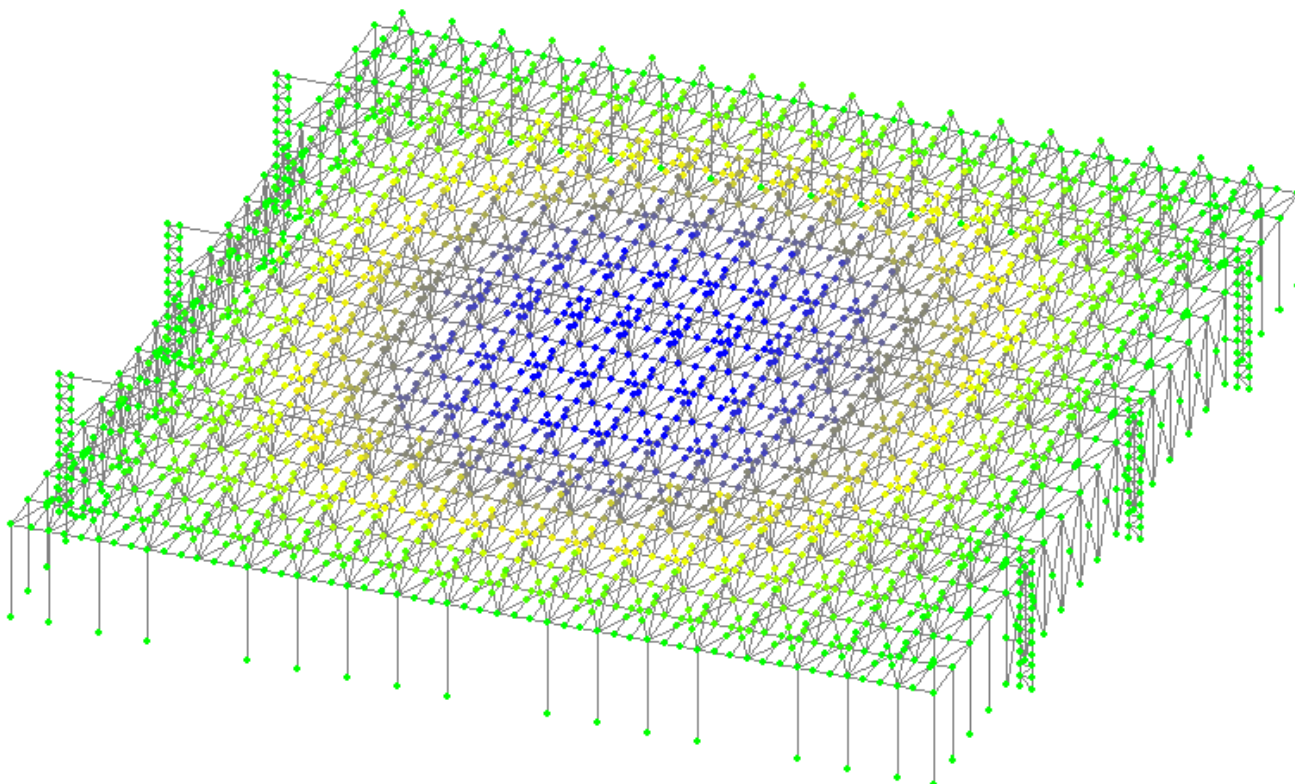


Рисунок 46- Перемещения от комбинации нагрузок

Перемещения

	Суммарное перемещение			
	мм	мм	мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	16.41	593	
<input checked="" type="checkbox"/>	16.41	32.82	214	
<input checked="" type="checkbox"/>	32.82	49.23	212	
<input checked="" type="checkbox"/>	49.23	65.64	166	
<input checked="" type="checkbox"/>	65.64	82.05	159	
<input checked="" type="checkbox"/>	82.05	98.46	140	
<input checked="" type="checkbox"/>	98.46	114.87	135	
<input checked="" type="checkbox"/>	114.87	131.28	143	
<input checked="" type="checkbox"/>	131.28	147.69	141	
<input checked="" type="checkbox"/>	147.69	164.1	135	
<input checked="" type="checkbox"/>	164.1	180.51	123	
<input checked="" type="checkbox"/>	180.51	196.92	126	
<input checked="" type="checkbox"/>	196.92	213.33	123	
<input checked="" type="checkbox"/>	213.33	229.74	110	
<input checked="" type="checkbox"/>	229.74	246.15	131	
<input checked="" type="checkbox"/>	246.15	262.56	164	

Рисунок 47- Значения перемещений комбинации нагрузок

Результаты нагрузки от пожара на схему один сведем в таблицы.

Таблица 8- Результаты при загрузении схемы 1 нагрузкой от пожара

Порядок выхода конструкций из строя	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.11-0.9	6423
	0.9-1.1	11
	1.1-2.68	27
2	0.11-0.9	6398
	0.9-1.1	13
	1.1-2.76	24
3	0.11-0.9	6379
	0.9-1.1	13
	1.1-2.76	22
4	0.11-0.9	6355
	0.9-1.1	22
	1.1-2.84	25
5	0.11-0.9	6352
	0.9-1.1	22
	1.1-2.84	25

Таблица 9- Значения перемещений

Схема до особой нагрузки/с учетом особой нагрузки	Максимальное значение перемещения, мм
Схема до особой нагрузки	241,74
Схема с учетом особой нагрузки	262,56

При приложении нагрузки от пожара на первую схему критический фактор превысил 1 у 47 элементов в основном это элементы покрытия (прогоны, балки, элементы ферм). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки увеличились на 20,82 мм. Важно отметить, что после потери несущей способности конструкций, которые были на пути у пожара, не последовало прогрессирующего обрушение конструкций, из которых состоит каркас здания.

Внутреннее взрывное воздействие

Назначим габариты и определим расположение трех помещений, в которых хранится авиационное топливо.

По [3] объем помещения с вентилируемыми проемами не должен превышать 1000 м<sup>3</sup>, тогда параметры, следующие 12х6,5х12 м.

Расположение помещений показано на рисунке 48

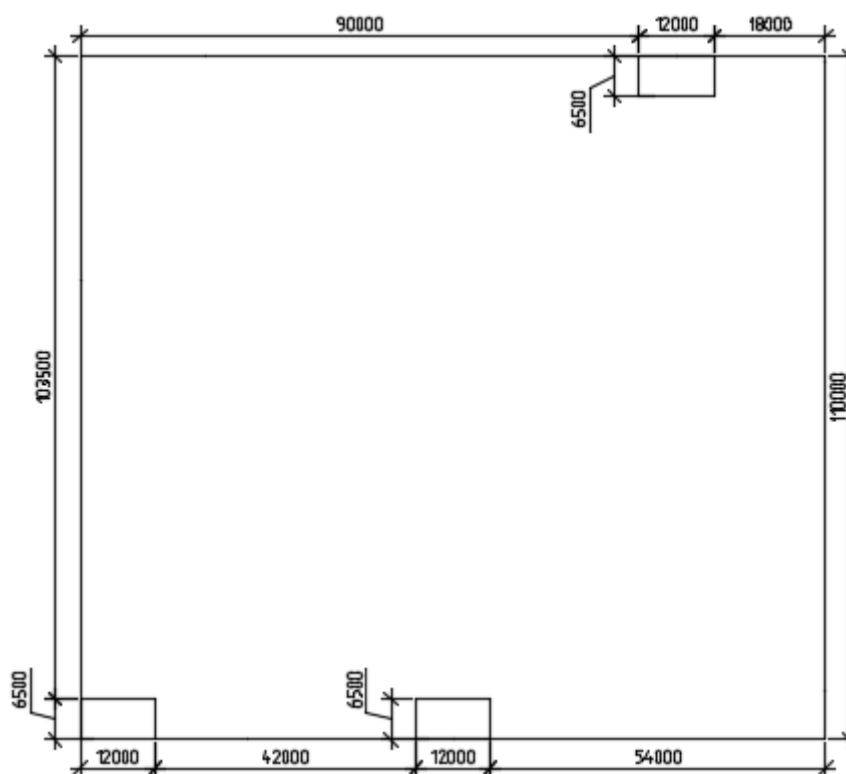


Рисунок 48- Схема размещения помещений под авиационное топливо и их габариты

Так как предполагается хранение легковоспламеняющихся жидкостей, в качестве вентилируемых проемов предусмотрим двери и ворота со следующими размерами: 2 двери двупольные противопожарные 2000x2400 мм, ворота распашные 3000x4500 мм.

Давление активации для дверей и ворот примем 0,7 кПа (при достижении в помещении такого давления, должно обеспечиваться их открывание).

Определим статическое давление от взрыва по (1), (2)

$$p_d = 3 + p_v = 3 + 0,7 = 3,7 \text{ кПа,}$$

$$p_d = 3 + 0,5 \cdot p_v + \frac{0,04}{\left(\frac{A_v}{V}\right)^2} = 3 + 0,5 \cdot 0,7 + 0,04 / \left(\frac{23,1}{936}\right)^2 = 70,01 \text{ кПа.}$$

Выбираем большее  $p_d = 70,01 \text{ кПа} = 70,01 \text{ кН/м}^2$ .

Значение давления перемножаем на грузовую площадь: для вертикальных поверхностей на колонны и фахверки с шагом 6 м, на покрытие с шагом прогонов 2 и 2,5 м.

$$\text{На колонны: } P = 70,01 \cdot 6 = 420,06 \text{ кН/м.}$$

$$\text{На прогоны: } P = 70,01 \cdot 2,5 = 175,03 \text{ кН/м.}$$

$$\text{На прогоны: } P = 70,01 \cdot 2 = 140,02 \text{ кН/м.}$$

В результате приложения нагрузки от внутреннего взрыва в трех помещениях получили следующие деформации и значения критического фактора.

Для помещения 1

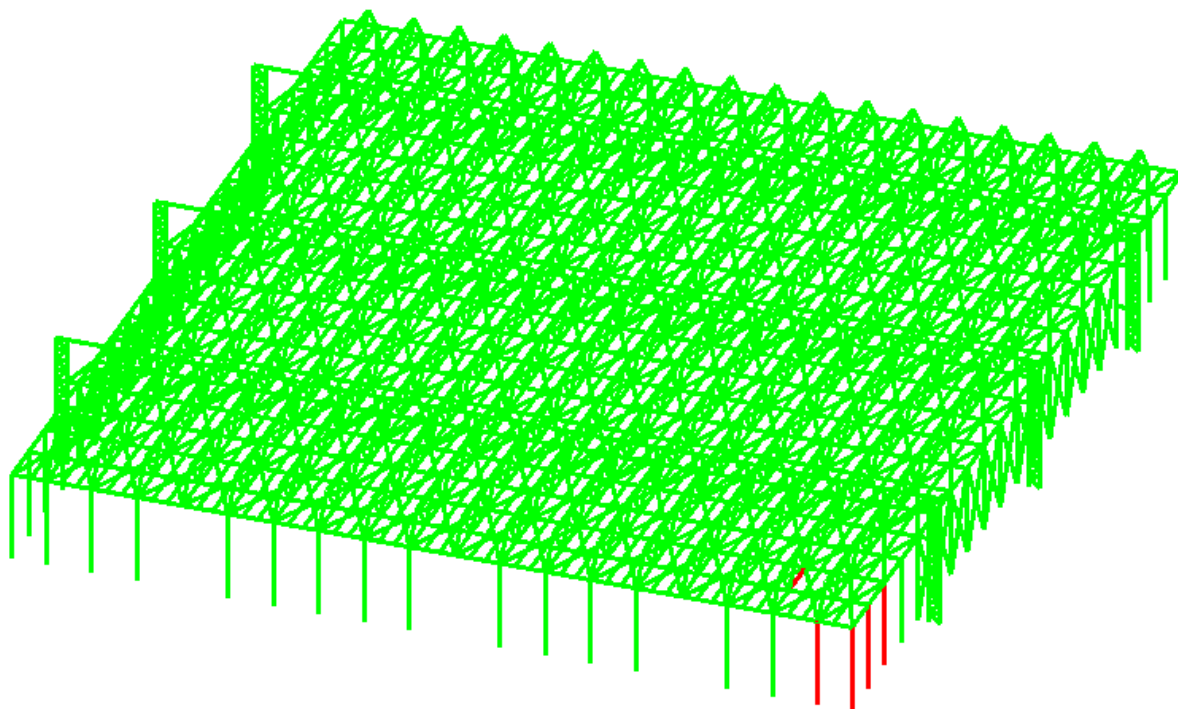


Рисунок 49- Критический фактор при первом расположении помещения при нагрузке от взрыва

Критический фактор $K_{max}$						
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.99		6475	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.99	1.01		0	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.01	43.99		5	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 50- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

## Перемещения при приложении нагрузки от взрыва в помещении 1

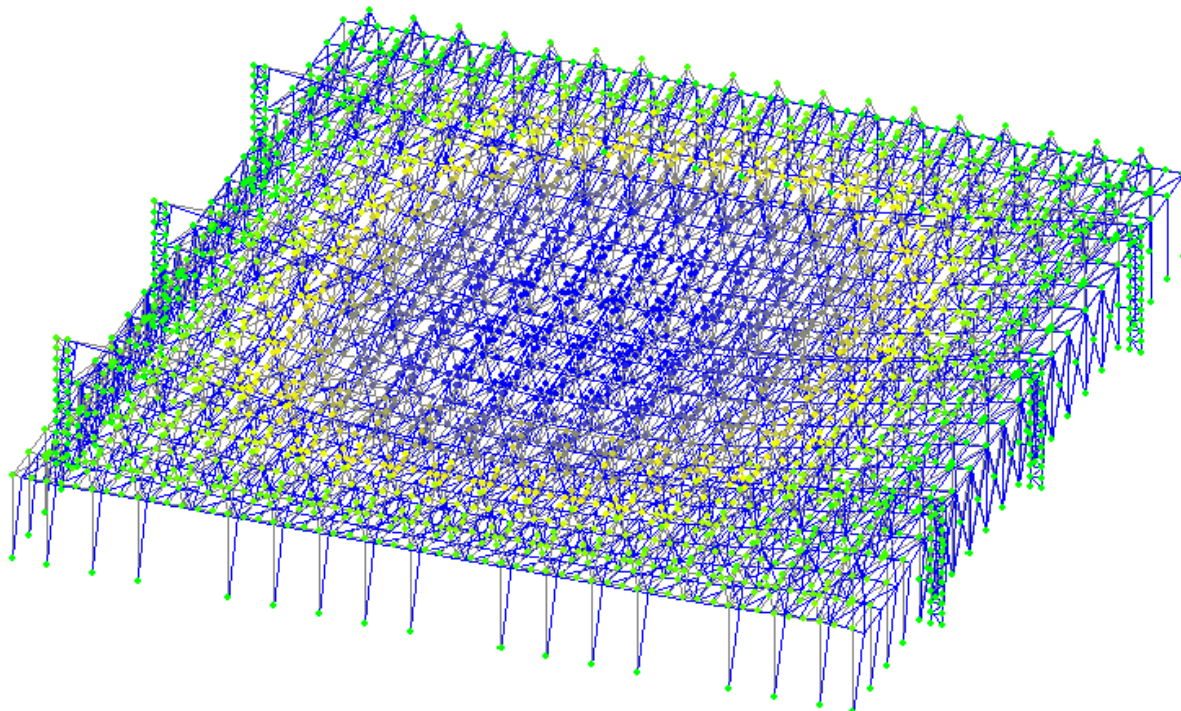


Рисунок 51- Перемещения от комбинации нагрузок

		Суммарное перемещение			
		мм	мм		
<input checked="" type="checkbox"/>		0	15.06	418	
<input checked="" type="checkbox"/>		15.06	30.13	180	
<input checked="" type="checkbox"/>		30.13	45.19	262	
<input checked="" type="checkbox"/>		45.19	60.26	267	
<input checked="" type="checkbox"/>		60.26	75.32	192	
<input checked="" type="checkbox"/>		75.32	90.39	143	
<input checked="" type="checkbox"/>		90.39	105.45	145	
<input checked="" type="checkbox"/>		105.45	120.52	144	
<input checked="" type="checkbox"/>		120.52	135.58	146	
<input checked="" type="checkbox"/>		135.58	150.65	129	
<input checked="" type="checkbox"/>		150.65	165.71	133	
<input checked="" type="checkbox"/>		165.71	180.78	119	
<input checked="" type="checkbox"/>		180.78	195.84	135	
<input checked="" type="checkbox"/>		195.84	210.9	108	
<input checked="" type="checkbox"/>		210.9	225.97	124	
<input checked="" type="checkbox"/>		225.97	241.03	170	

Рисунок 52- Значения перемещений от комбинации нагрузок

Для помещения 2

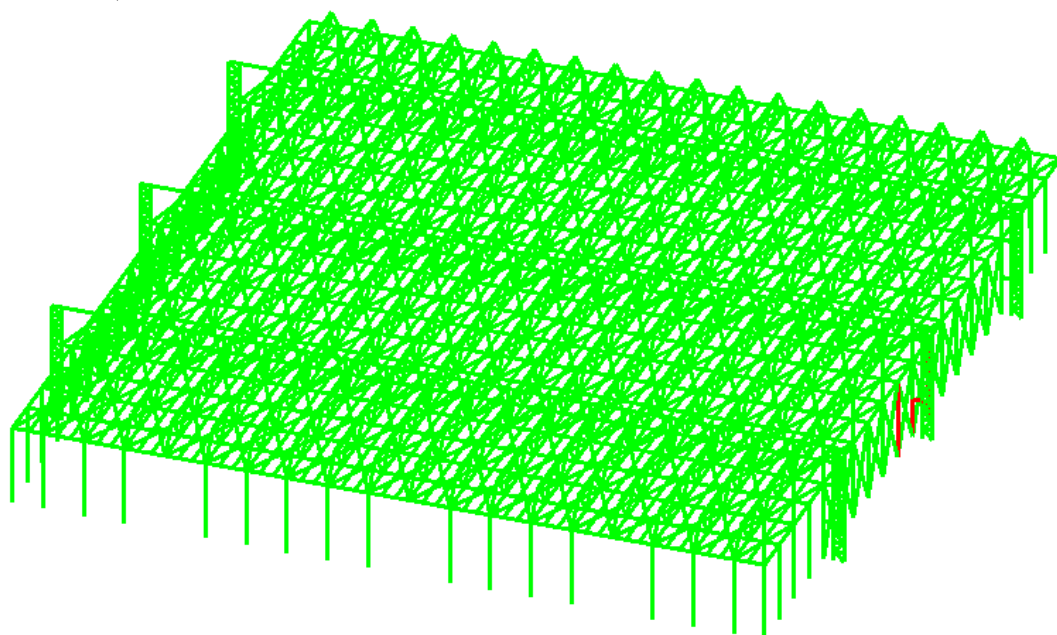


Рисунок 53- Критический фактор при втором расположении помещения при нагрузке от взрыва

Критический фактор $K_{max}$				
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.99	6476 <span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.99	1.01	0 <span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.01	1.6	4 <span style="color: red;">■</span>

Рисунок 54- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

Перемещения при приложении нагрузки от взрыва в помещении 2

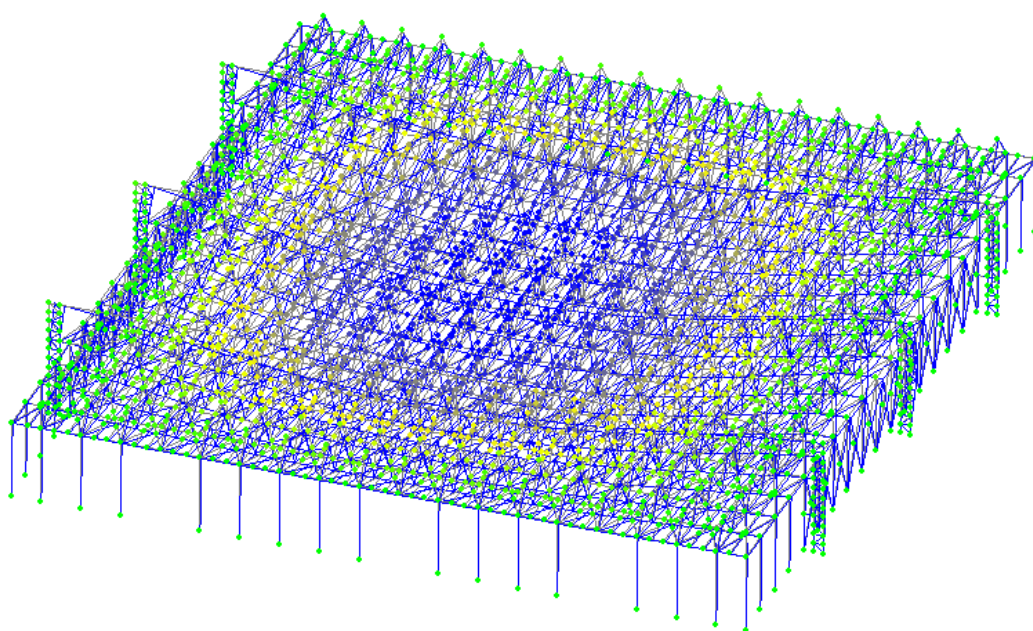


Рисунок 55- Перемещения от комбинации нагрузок

		Суммарное перемещение			
		мм	мм		
✓	0	14.19	506		
✓	14.19	28.39	252		
✓	28.39	42.58	250		
✓	42.58	56.78	187		
✓	56.78	70.97	144		
✓	70.97	85.17	139		
✓	85.17	99.36	137		
✓	99.36	113.56	150		
✓	113.56	127.75	145		
✓	127.75	141.95	122		
✓	141.95	156.14	122		
✓	156.14	170.34	120		
✓	170.34	184.53	137		
✓	184.53	198.72	113		
✓	198.72	212.92	121		
✓	212.92	227.11	170		

Рисунок 56- Значения перемещений от комбинации нагрузок

Для помещения 3

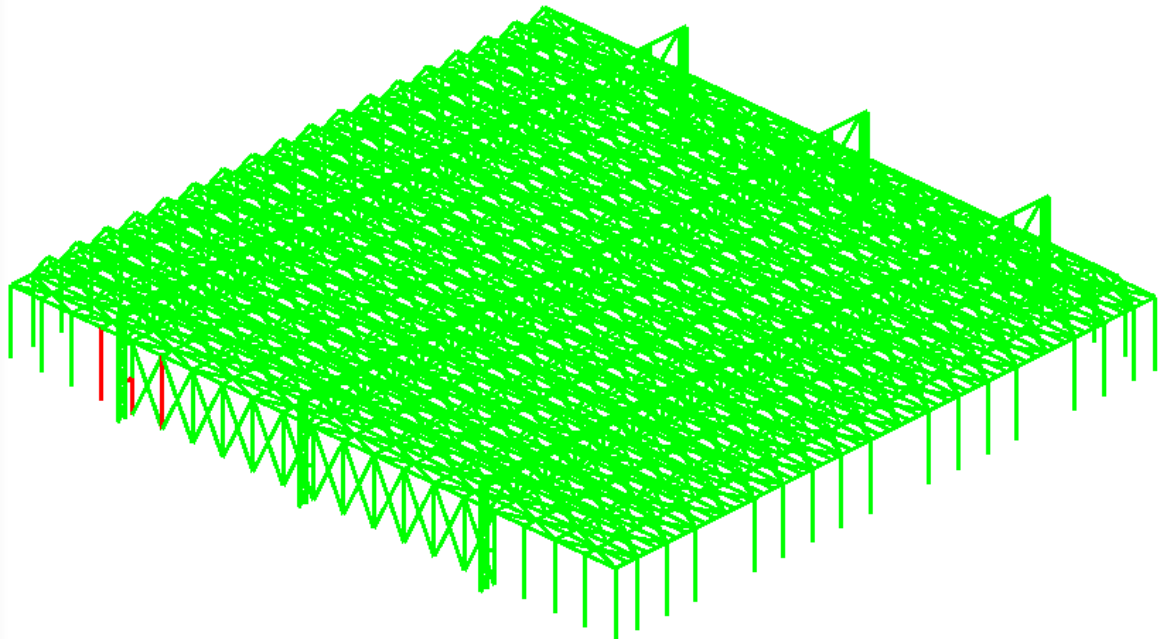


Рисунок 57- Критический фактор при третьем расположении помещения при нагрузке от взрыва

		Критический фактор K <sub>max</sub>			
✓	0.11	0.99	6476		
✓	0.99	1.01	0		
✓	1.01	1.7	4		

Рисунок 58- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

## Перемещения при приложении нагрузки от взрыва в помещении 3

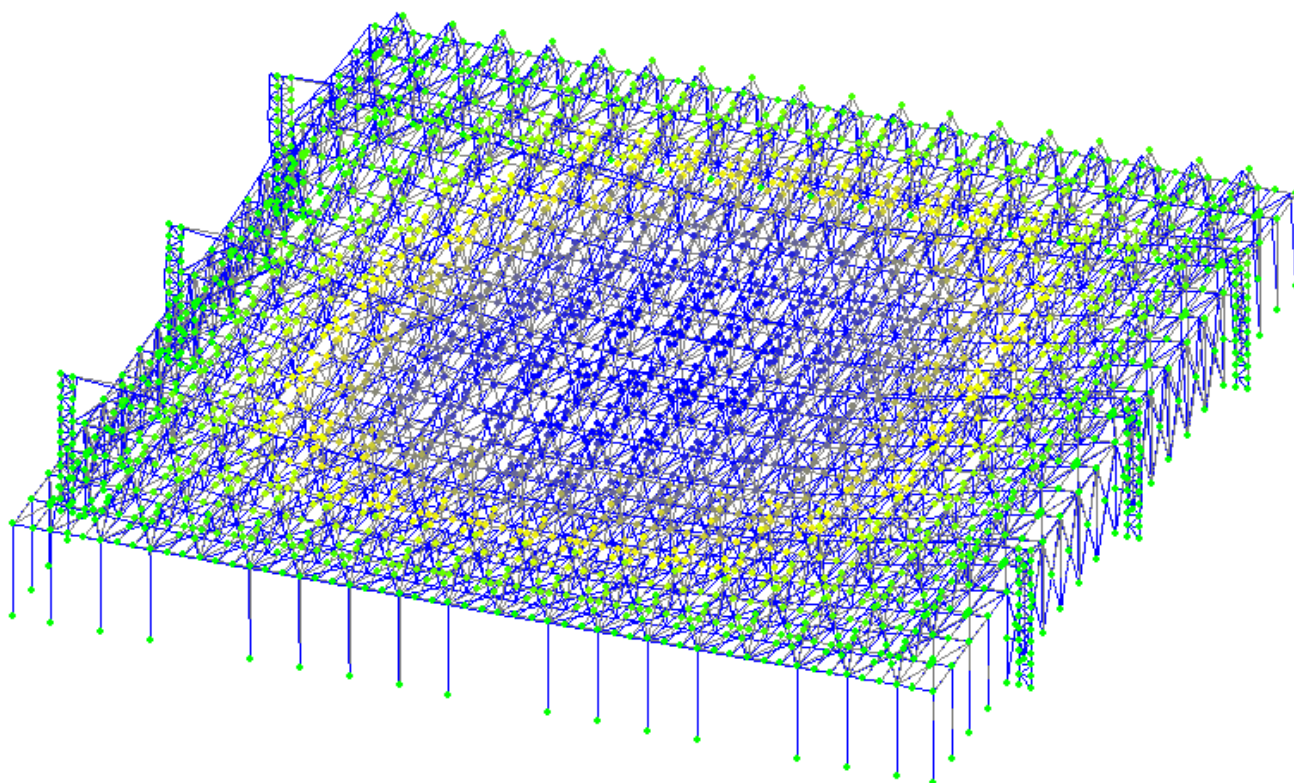


Рисунок 59- Перемещения от комбинации нагрузок

		Суммарное перемещение			
		мм	мм		
✓	0	14.72	392	█	
✓	14.72	29.44	309	█	
✓	29.44	44.17	298	█	
✓	44.17	58.89	192	█	
✓	58.89	73.61	164	█	
✓	73.61	88.33	138	█	
✓	88.33	103.05	135	█	
✓	103.05	117.78	146	█	
✓	117.78	132.5	147	█	
✓	132.5	147.22	120	█	
✓	147.22	161.94	135	█	
✓	161.94	176.67	115	█	
✓	176.67	191.39	127	█	
✓	191.39	206.11	119	█	
✓	206.11	220.83	127	█	
✓	220.83	235.55	151	█	

Рисунок 60- Значения перемещений от комбинации нагрузок



Результаты нагрузки от внутреннего взрывного воздействия на схему один сведем в таблицы.

Таблица 10- Результаты при загрузении схемы 1 нагрузкой от взрыва

Номер помещения	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.11-0.9	6475
	0.9-1.01	0
	1.01-43,99	5
2	0.11-0.9	6476
	0.9-1.01	0
	1.01-1,6	4
3	0.11-0.9	6476
	0.9-1.01	0
	1.01-1.7	4

Таблица 11- Значения перемещений

Номер помещения	Схема до особой нагрузки	Схема с учетом особой нагрузки
1	241,74	241,03
2	241,74	227,11
3	241,74	235,55

При приложении внутреннего взрывного воздействия на первый вид каркаса назначили три возможных варианта размещения помещений. В итоге наибольшее количество элементов, потерявших несущую способность (5 элементов), и максимальное значение критического фактора 43,88 мм возникло при угловом расположении помещения (помещение 1). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки уменьшились до минимального значения 227,11 мм, в помещении 2, расположенном справа, в средней части здания.

Следовательно, необходимо размещать помещение с хранением авиационного топлива, как размещено помещение 2.

Экстремальное температурное воздействие

Проводим расчет согласно [3] и получаем необходимое значение нагрузки при экстремальном температурном воздействии.

Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в холодное  $\Delta t_c$  время года определяем по формуле (3)

$$\Delta t_c = t_c - t_{ow} = -22,18 - 11,17 = -33,35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Нормативное значение средней температуры  $t_c$  и перепадов температур по сечению элемента в теплое  $\vartheta_w$  и  $\vartheta_c$  холодное время года для однослойных конструкций следует определять по [1, табл. 13.1] по формулам (4), (5), (6), соответственно

$$t_c = 20 + 0,6(-45,3 - 20) - 0,5 \cdot 6 = -22,18 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\vartheta_c = 0,8(-45,3 - 20) - 0,5 \cdot 4 = -54,24 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$t_{ec} = 1,1 \cdot (-45) + 0,5 \cdot 8,4 = -49,5 + 4,2 = -45,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Начальную температуру, соответствующую замыканию конструкции или ее части в законченную систему в теплое время года  $t_{ow}$  следует определять по формуле (8)

$$t_{ow} = 0,8 \cdot 18,7 + 0,2 \cdot (-16,3) = 11,7 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Прикладываем рассчитанное значение температуры в ПК SCAD, как температурные нагрузки на стержни и получаем следующий результат на рисунках 61, 62

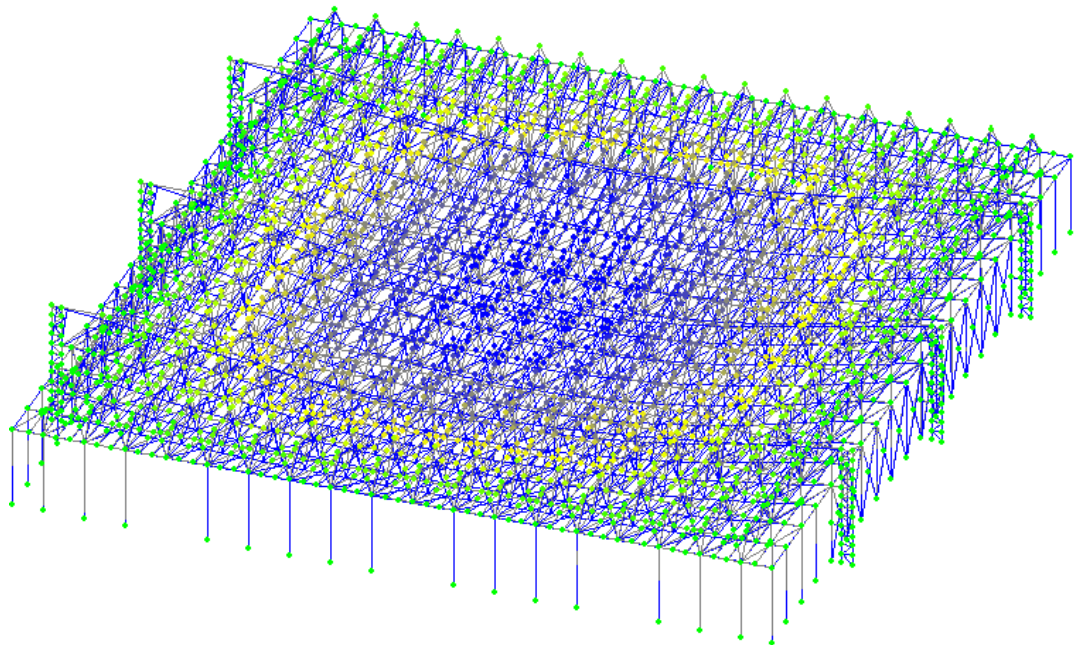


Рисунок 61- Перемещения каркаса здания при экстремальной температурной нагрузке

		Суммарное перемещение			
		мм	мм		
<input checked="" type="checkbox"/>	0	20.03	553		
<input checked="" type="checkbox"/>	20.03	40.05	205		
<input checked="" type="checkbox"/>	40.05	60.08	221		
<input checked="" type="checkbox"/>	60.08	80.11	172		
<input checked="" type="checkbox"/>	80.11	100.14	152		
<input checked="" type="checkbox"/>	100.14	120.16	137		
<input checked="" type="checkbox"/>	120.16	140.19	140		
<input checked="" type="checkbox"/>	140.19	160.22	147		
<input checked="" type="checkbox"/>	160.22	180.24	151		
<input checked="" type="checkbox"/>	180.24	200.27	121		
<input checked="" type="checkbox"/>	200.27	220.3	132		
<input checked="" type="checkbox"/>	220.3	240.33	124		
<input checked="" type="checkbox"/>	240.33	260.35	140		
<input checked="" type="checkbox"/>	260.35	280.38	118		
<input checked="" type="checkbox"/>	280.38	300.41	129		
<input checked="" type="checkbox"/>	300.41	320.44	173		

Рисунок 62- Значения перемещений от комбинации нагрузок

Критический фактор получился следующий

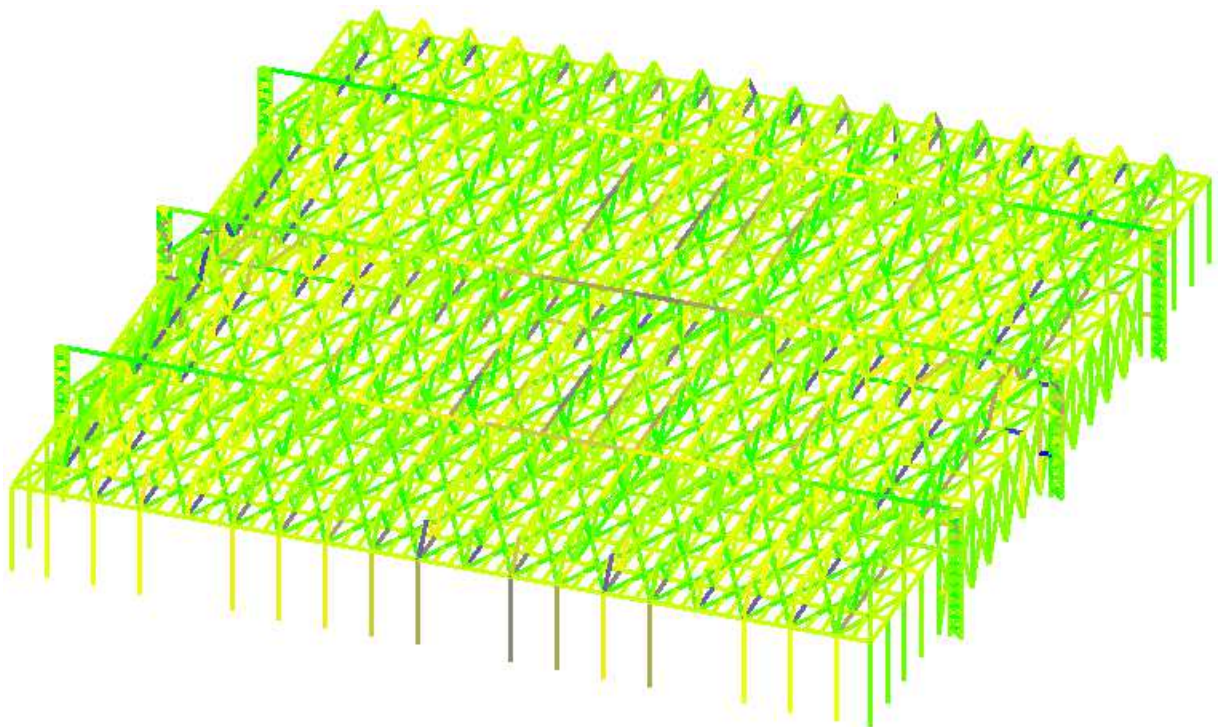


Рисунок 63- Критический фактор при экстремальной температурной нагрузке

✓	0.11	0.17	40	█
✓	0.17	0.24	163	█
✓	0.24	0.3	1111	█
✓	0.3	0.36	510	█
✓	0.36	0.43	657	█
✓	0.43	0.49	266	█
✓	0.49	0.55	3099	█
✓	0.55	0.62	313	█
✓	0.62	0.68	108	█
✓	0.68	0.75	57	█
✓	0.75	0.81	48	█
✓	0.81	0.87	42	█
✓	0.87	0.94	61	█
✓	0.94	1	4	█
✓	1	1.06	0	█
✓	1.06	1.13	1	█

Рисунок 64- Значения критического фактора при экстремальной температурной нагрузке

Результаты нагрузки от экстремального температурного воздействия на схему один сведом в таблицы.

Таблица 12- Результаты при загрузении схемы 1 нагрузкой от температурного воздействия

Наименование загрузки	Значение критического фактора	Количество элементов
Экстремальное температурное воздействие	0.94-1	4
	1.06-1.13	1

Таблица 13- Значения перемещений

Наименование загрузки	Максимальное перемещение, мм
Схема до особой нагрузки	241,74
Схема с учетом особой нагрузки	320,44

Так как первый вариант каркаса имеет несущие конструкции снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций, перемещения увеличились на 78,7 мм, что составляет 32,5 %. Согласно значениям критического фактора несущую способность теряет один элемент. При данном особом воздействии значение максимального перемещения равно 320,44 мм, в соответствии с [1] допустимый прогиб составляет 370 мм, следовательно, условие удовлетворяется.

## 2.2 Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций

### 2.2.1 Описание конструктивного решения. Компоновка каркаса

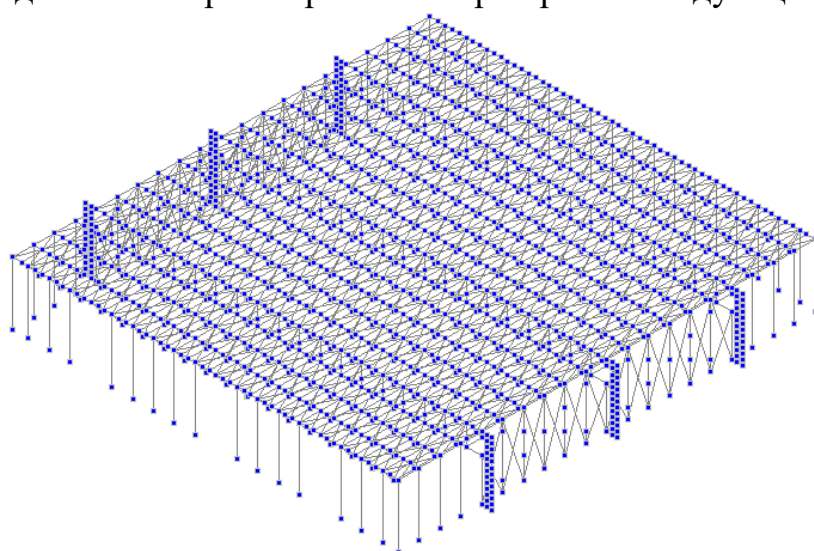
Схема несущего каркаса вертолетного ангара с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций представлена в графической части на листе 4.

Геометрические характеристики остаются прежними. Полезная высота будет составлять 12 м, но так как прогоны располагаем в уровне верхних поясов ферм и ригелей, высота колонн и фахверка становится 18 м.

Основной каркас, состоящий из поперечных рам, с небольшими фермами, расположен внутри относительно ограждающих конструкций кровли.

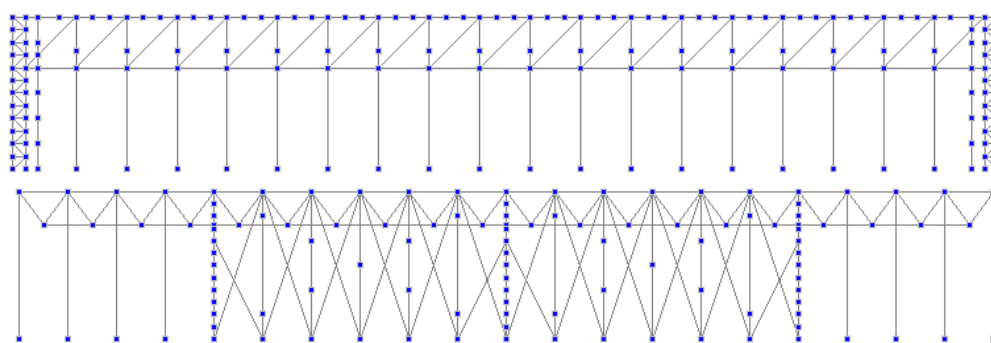
Для исследования второй вариант ангара принят следующий

а)



б)

в)



а- изометрическая проекция; б- вид спереди; в- вид справа

Рисунок 65- Вертолетный ангар

## 2.2.2 Расчетная схема в ПК SCAD

Расчетная схема, собранная в ПК SCAD представлена на рисунке

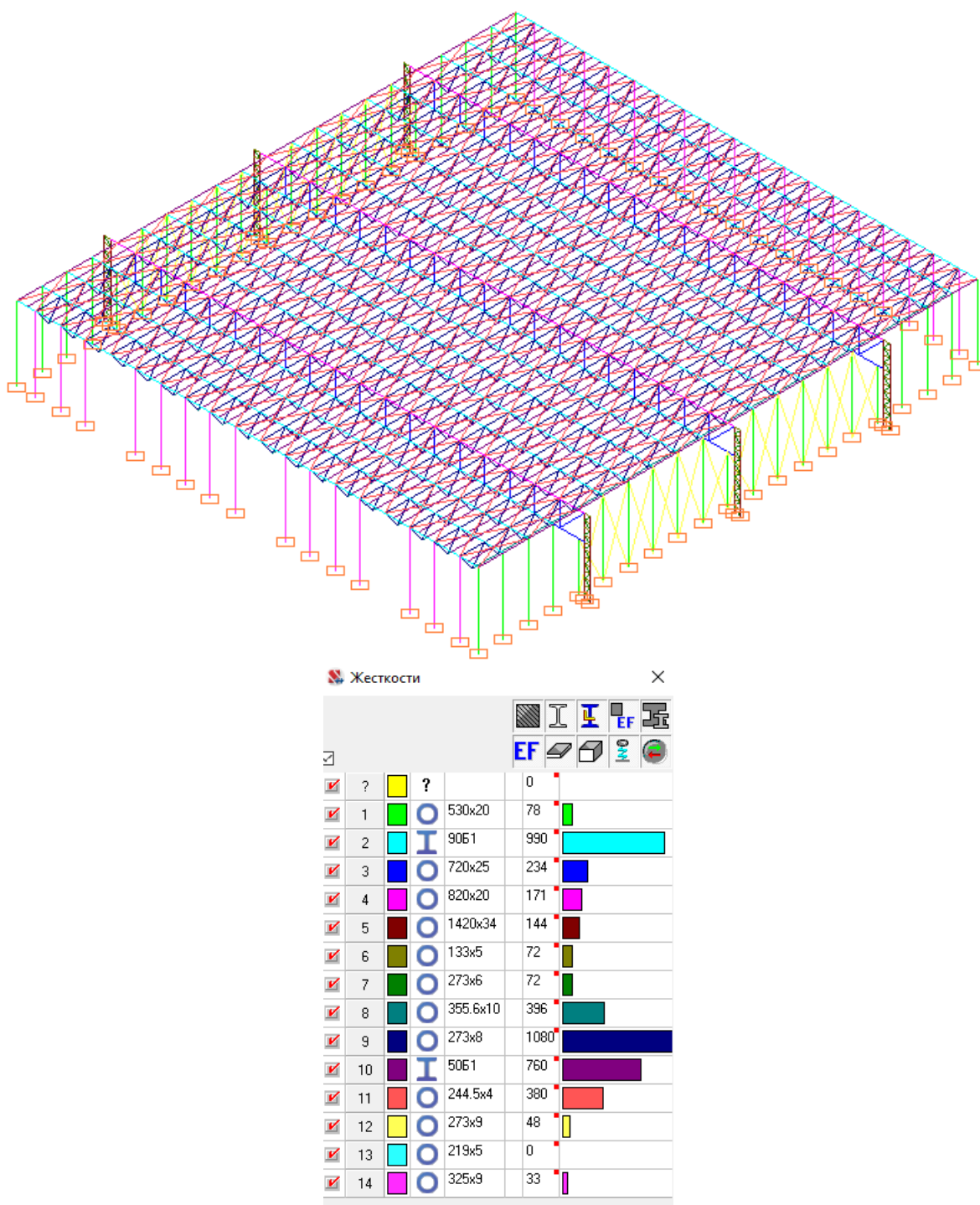


Рисунок бб- Расчетная схема вертолетного ангара второй вариант

Для всех элементов второго варианта расчетной схемы жесткости аналогичны, тем, которые заданы были для первого варианта ангара.

### 2.2.3 Сбор нагрузок

При сборе нагрузок для второго варианта вертолетного ангара немного изменяются значения снеговой и ветровой нагрузок. Так как предполагается увеличение высоты из-за того, что наружные конструкции рассматриваются внутри ангара.

#### Постоянная нагрузка

Расчет постоянных нагрузок аналогичен первому варианту. Для удобства продублируем получившиеся значения для второй схемы.

#### Нагрузка от стеновых сэндвич-панелей

Для толщины сэндвич-панели 120 мм, удельный вес для панели равен  $25,62 \text{ кг/м}^2 = 0,26 \text{ кН/м}^2$ .

При шаге колонн и фахверков 6 м, получим следующую нагрузку

$$P = 0,26 \cdot 6 = 1,56 \text{ кН/м.}$$

#### Нагрузка от кровельных сэндвич-панелей

Для толщины кровельной сэндвич-панели 180 мм, удельный вес равен  $31,13 \text{ кг/м}^2 = 0,31 \text{ кН/м}^2$ .

Прикладываем постоянную нагрузку на ригели, учитывая их шаг 2 м, получаем значение

$$P = 0,31 \cdot 2 = 0,62 \text{ кН/м.}$$

#### Нагрузка от подъемных ворот

Нагрузка от ворот распределяется между точками крепления, расположенными с интервалом 1000 мм. Вес полотна ворот не превышает 40-200 кг на метр ширины, но с учетом возможных дополнительных внешних нагрузок общая нагрузка рассчитывается исходя из величины 2 кН на метр ширины. Следовательно, нагрузка от ворот учитывается как сосредоточенная через каждый метр закрепления ворот.

#### Собственный вес

Чтобы учесть собственный вес используем в программе SCAD встроенные функции. Коэффициент надежности по нагрузке для металлических конструкций равен 1,05.

#### Временные нагрузки

#### Снеговая нагрузка

Так же, как и в пункте 2.1.3 учитываются две возможные схемы загрузки покрытия.

Нормативное значение снеговой нагрузки определяется по формуле 12

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t.$$

Вариант 1

Для частей вылетом 24 м

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1 \cdot 0,76 \cdot 1 = 1,14 \text{ кН/м}^2;$$

Снеговую нагрузку прикладываем к верхним прогонам. Для шага прогонов  $B=2$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,14 \cdot 2 = \mathbf{2,28} \text{ кН/м.}$$

Снеговую нагрузку прикладываем к верхним прогонам. Для шага прогонов  $B=2,5$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,14 \cdot 2,5 = \mathbf{2,85} \text{ кН/м.}$$

Для участков между рамами

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1 \cdot 0,793 \cdot 1 = 1,18 \text{ кН/м}^2;$$

Снеговую нагрузку прикладываем к верхним прогонам. Шаг прогонов  $B=2$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,18 \cdot 2 = \mathbf{2,36} \text{ кН/м.}$$

Снеговую нагрузку прикладываем к верхним прогонам. Шаг прогонов  $B=2,5$  м.

$$q = S_0 \cdot B = 1,18 \cdot 2,5 = \mathbf{2,95} \text{ кН/м.}$$

Вариант 2

Для частей вылетом 24 м

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,76 \cdot 1 = 0,85 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,85 \cdot 2 = \mathbf{1,7} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,85 \cdot 2,5 = \mathbf{2,125} \text{ кН/м.}$$

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,76 \cdot 1 = 1,425 \text{ кН/м}^2;$$



$$q = S_0 \cdot B = 1,425 \cdot 2 = \mathbf{2,85} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,425 \cdot 2,5 = \mathbf{3,56} \text{ кН/м.}$$

#### Для участков между рамами

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,793 \cdot 1 = 0,89 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,89 \cdot 2 = \mathbf{1,78} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 0,89 \cdot 2,5 = \mathbf{2,23} \text{ кН/м.}$$

$$S_0 = S_g \cdot \mu \cdot c_e \cdot c_t = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 0,793 \cdot 1 = 1,487 \text{ кН/м}^2;$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,487 \cdot 2 = \mathbf{2,97} \text{ кН/м.}$$

$$q = S_0 \cdot B = 1,487 \cdot 2,5 = \mathbf{3,72} \text{ кН/м.}$$

#### Ветровая нагрузка

Ветровые нагрузки, учитываются так же, как в пункте 2.1.3. При первом варианте расчетной схемы, присутствовал расчет ветра на плоские решетчатые параллельно расположенные конструкции для колонн и ригелей главной рамы, для небольших ферм. Так как во втором варианте схемы каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций, нагрузка на решетчатые элементы считается только для колонн главной рамы.

Нормативное значение ветрового давления находим по формуле (14)

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c.$$

$w_0 = 0,38$  кПа – нормативное значение ветрового давления [1, табл. 11.1];

$k$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $z_e$  [1, п.11.1.5]; При  $h \leq d$  эквивалентная высота  $z_e = h = 12$  м. Где  $d$  – поперечный размер здания,  $h$  – высота здания.

$c$  – аэродинамический коэффициент [1, прил. В.1.2].

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки учитывается в ПК SCAD.

#### Ветровая нагрузка на стены

##### Ветер по оси X

Ветровая нагрузка для участка

$$A- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-1,0) = -0,46 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,8) = -0,36 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

$$A=4.8 \text{ м; B}=19.2 \text{ м; C}=87 \text{ м.}$$

Ветровую нагрузку прикладываем к балке,  $B=18$  м. Нагрузку на балку по формуле (15)

$$A- q = w_m \cdot B = -0,46 \cdot 18 = -8,28 \text{ кН/м;}$$

$$B- q = w_m \cdot B = -0,36 \cdot 18 = -6,48 \text{ кН/м};$$

$$C- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 18 = -4,14 \text{ кН/м};$$

Ветровая нагрузка для участка:

При  $z_e=18$  м;  $k(z_e)=1.2$

$$D- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1.2 \cdot 0,8 = 0,36 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1.2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

Ветровую нагрузку прикладываем к колоннам, шаг колонн  $B=6$  м.

Нагрузка на стойки по (16)

При  $z_e=18$  м

$$D- q = w_m \cdot B = 0,36 \cdot 6 = 2.16 \text{ кН/м};$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 6 = -1,38 \text{ кН/м};$$

### Ветер по оси Y

Ветровая нагрузка для участка

При  $z_e=18$  м;  $k(z_e)=1,2$

$$A- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-1,0) = -0,46 \text{ кПа.}$$

$$B- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,8) = -0,36 \text{ кПа.}$$

$$C- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

$A=4,8$  м;  $B=19,2$  м;  $C=96$  м.

Ветровую нагрузку прикладываем к колоннам,  $B=6$  м. Нагрузка на колонну по (17).

При  $z_e=18$  м

$$A- q = w_m \cdot B = -0,46 \cdot 6 = -2,76 \text{ кН/м};$$

$$B- q = w_m \cdot B = -0,36 \cdot 6 = -2,16 \text{ кН/м};$$

$$C- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 6 = -1,38 \text{ кН/м.}$$

Ветровая нагрузка для участка

$$D- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 0,36 \text{ кПа.}$$

$$E- w_m = w_0 \cdot k \cdot c = 0,38 \cdot 1,2 \cdot (-0,5) = -0,23 \text{ кПа.}$$

Ветровую нагрузку прикладываем к балке,  $B=18$  м.

$$D- q = w_m \cdot B = 0,36 \cdot 18 = 6,48 \text{ кН/м};$$

$$E- q = w_m \cdot B = -0,23 \cdot 18 = -4,14 \text{ кН/м.}$$

## Ветровая нагрузка на ряд плоских параллельно расположенных решетчатых конструкций

Данная нагрузка будет прикладываться только на колонны основной рамы. Ее расчет представлен в пункте 2.1.3 работы.

### Ветровая нагрузка на покрытие

Так же, как и для предыдущего варианта вычисление происходит в программе ВЕСТ.

Задаются следующие параметры

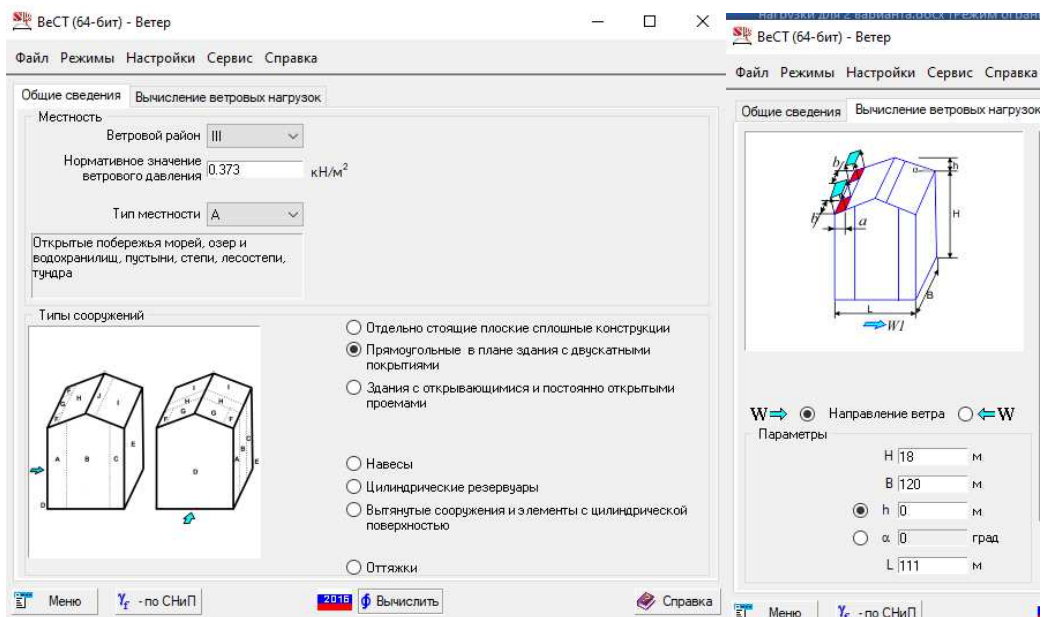


Рисунок 67- Вычисление в ВЕСТ

Расстояния на кровле

$$e=2h=2*12=24 \text{ м}$$

$$e/4=24/4=6 \text{ м}; e/10=24/10=2.4 \text{ м.}$$

$$G=120-6-6=108 \text{ м.}$$

$$H=111/2-2.4=53.1 \text{ м.}$$

Ветровая нагрузка на покрытие по оси х представлена в таблице 14.

Таблица 14- Ветровая нагрузка на покрытие

Расстояние на кровле, м	Нормативное значение нагрузки, кН/м <sup>2</sup>	Приложена на прогоны, кН/м <sup>2</sup>
F (2.4x6 м)	0,8	0,8*2=1,6
G (2.4x108 м)	0,58	0,58*2=1.16
H (53.1)	0,31	0,31*2=0.62
J (2.4 м)	0,22	0,22*2=0,44
I (53.1 м)	0,22	0,22*2=0,44

Расстояния на кровле

$$e=2h=2*12=24 \text{ м}$$

$$e/4=24/4=6 \text{ м}; e/10=24/10=2.4 \text{ м.}$$

$$2G=99 \text{ м}$$

$$H=9.6 \text{ м. I}=108 \text{ м.}$$

Ветровая нагрузка на покрытие по оси х представлена в таблице 15.

Таблица 15- Ветровая нагрузка на покрытие

Расстояние на кровле, м	Нормативное значение нагрузки, кН/м <sup>2</sup>	Приложена на прогоны, кН/м <sup>2</sup>
F	0,8	0,8*2=1,6
G	0,58	0,58*2=1.16
H	0,31	0,31*2=0,62
I	0,22	0,22*2=0,44

Задание пульсационной составляющей нагрузки учитывается в ПК SCAD.

## 2.2.4 Задание комбинаций нагрузок и РСУ

Для второй схемы комбинация загрузжений выглядит аналогично первой.

Комбинации загрузжений

Учесть коэффициент надежности  Учесть долю длительности

Загрузки/Комбинации	Коэффициент
1 Собственный вес	1
2 Снег 1 вариант	0
3 Снег 2 вариант	0
4 Ветер по X	0
5 Ветер по Y	0
6 Нагрузка от стеновых панелей	1
7 Нагрузка от кровельных панелей	1
8 Нагрузка от ворот	1
9 Пульсация по X	0
10 Пульсация по Y	0

Комбинации загрузжений

Комбинации загрузжений	Название
1 L1+L6+L7+L8	
2 L2+C1	
3 L2+0.9*L9+C1	
4 L2+0.9*L10+C1	
5 L3+C1	
6 L3+0.9*L9+C1	
7 L3+0.9*L10+C1	

Расчетные сочетания усилий и перемещений

Активное загрузжение	Активное загрузжение в РСР	Наименование	Тип загрузжения	Вид нагрузки	Знакопеременность	Участуют в групповых операциях	Коэф. зависюсти	Доля длительности	Сопутствия				Козд К
									Объединения	Взаимоисключения	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	
1	✓	Собственный вес	Постоянные на	Вес металличе			1.05	1	1	0	0	0	0
2	✓	Снег 1 вариант	Кратковремен	Полые снегов			1.4	0.5	1	0	0	0	0
3	✓	Снег 2 вариант	Кратковремен	Полые снегов			1.4	0	1	0	0	0	0
4		Ветер по X	Кратковремен	Ветровые нагр			1.4	0	1	0	0	0	0
5		Ветер по Y	Кратковремен	Ветровые нагр			1.4	0	1	0	0	0	0
6	✓	Нагрузка от стено	Постоянные на	Вес бетонных к			1.1	1	1	0	0	0	0
7	✓	Нагрузка от кров	Постоянные на	Вес бетонных к			1.1	1	1	0	0	0	0
8	✓	Нагрузка от ворот	Постоянные на	Вес бетонных к			1.1	1	1	0	0	0	0
9	✓	Пульсация по X	Кратковремен	Ветровые нагр			1.4	0	1	0	0	0	0
10	✓	Пульсация по Y	Кратковремен	Ветровые нагр			1.4	0	1	0	0	0	0
11		L1+L6+L7+L8	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0
12		L2+C1	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0
13		L2+0.9*L9+C1	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0
14		L2+0.9*L10+C1	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0
15		L3+C1	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0
16		L3+0.9*L9+C1	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0
17		L3+0.9*L10+C1	Постоянные на	Другие			1	1	1	0	0	0	0

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

Шаг ориентации площадок при анализе пластин 15 град | Отчет

Взаимоисключающие загрузжения

Наименование	2	3	9	10
2 Снег 1 вариант				
3 Снег 2 вариант	✓			
9 Пульсация по X			✓	
10 Пульсация по Y				✓

Все | OK | Отмена | Справка

Рисунок 68- Задание РСУ

## 2.2.5 Приложение нагрузок

Собственный вес задается автоматически в программе SCAD.

Нагрузка от ограждающих стеновых конструкций (от сэндвич-панелей), прикладывается к колоннам и фахверку.

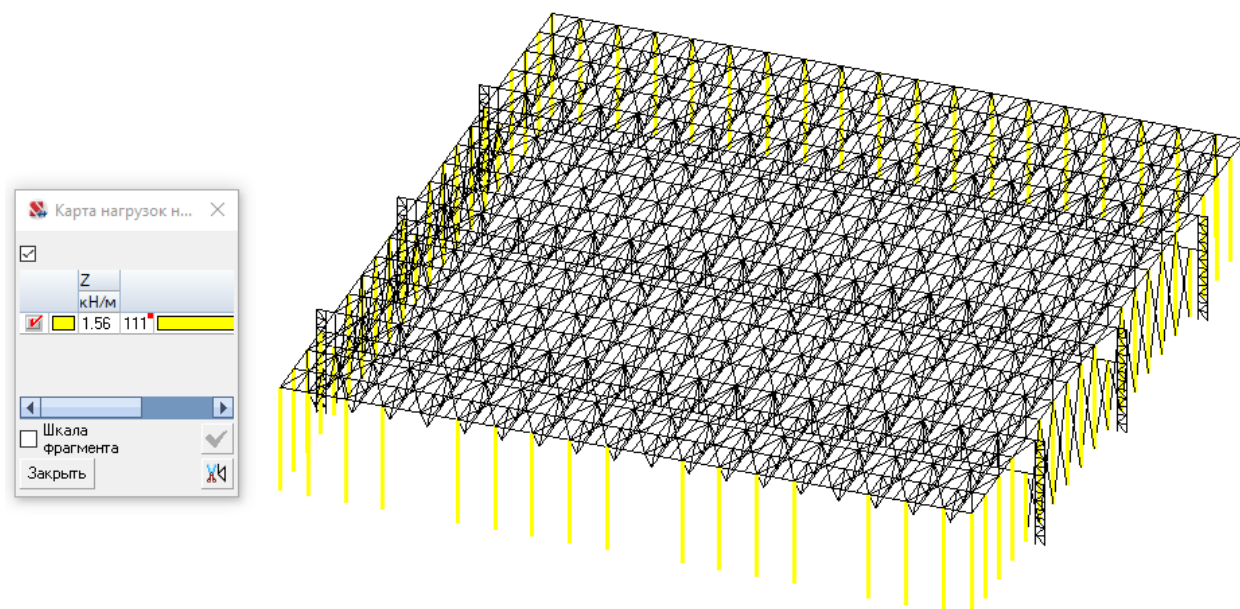


Рисунок 69- Карта распределения нагрузки от стеновых сэндвич-панелей

Нагрузка от сэндвич-панелей покрытия, прикладывается к прогонам.

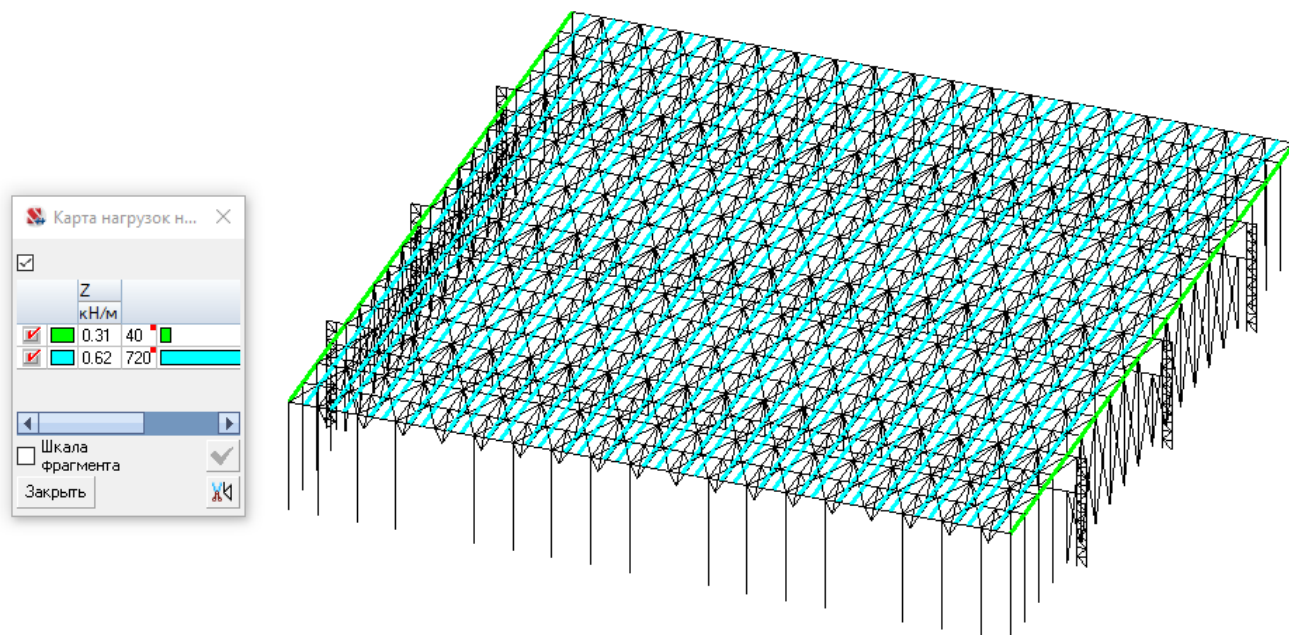


Рисунок 70- Карта распределения нагрузки от кровельных сэндвич-панелей

Нагрузка от подвесных ворот, прикладывается на балку в виде сосредоточенной

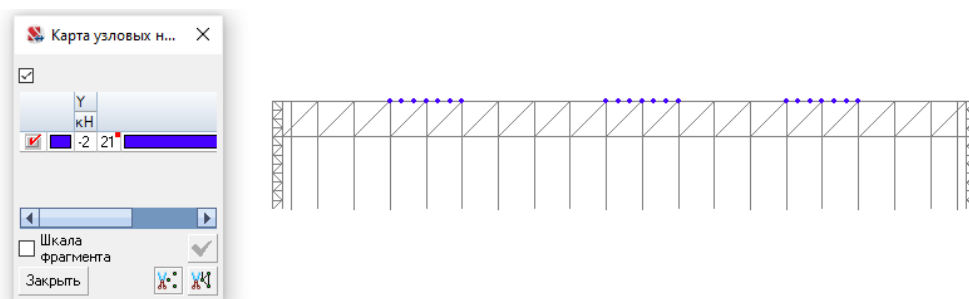


Рисунок 71- Карта распределения нагрузки от подвесных ворот

Дальше прикладываем снег по первому варианту

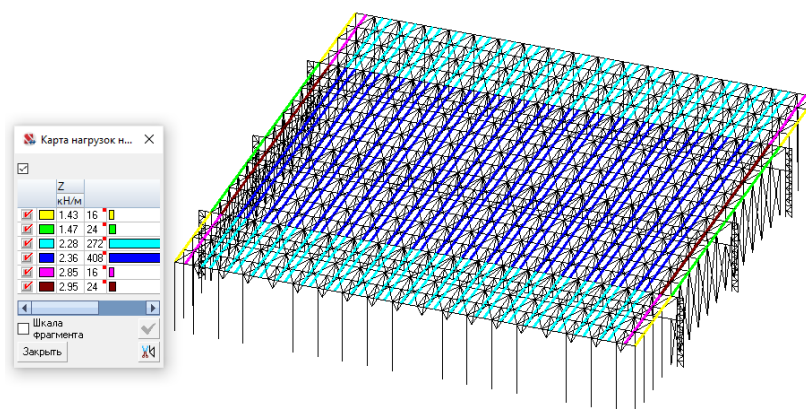


Рисунок 72- Карта распределения нагрузки от снега по первому варианту

При первом варианте снегового загрузения снег на покрытие распределяется равномерно. При втором варианте распределение происходит неравномерно, с одной стороны, больше, со второй меньше.

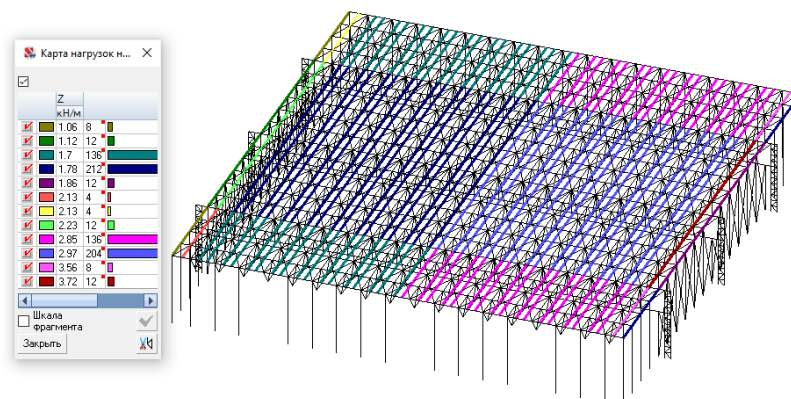


Рисунок 73- Карта распределения нагрузки от снега по второму варианту

Ветровая нагрузка будет прикладываться к колоннам и балкам, а также в узлы решетчатых колонн. Ветровая нагрузка по осям X и Y показана на рисунках 74, 75

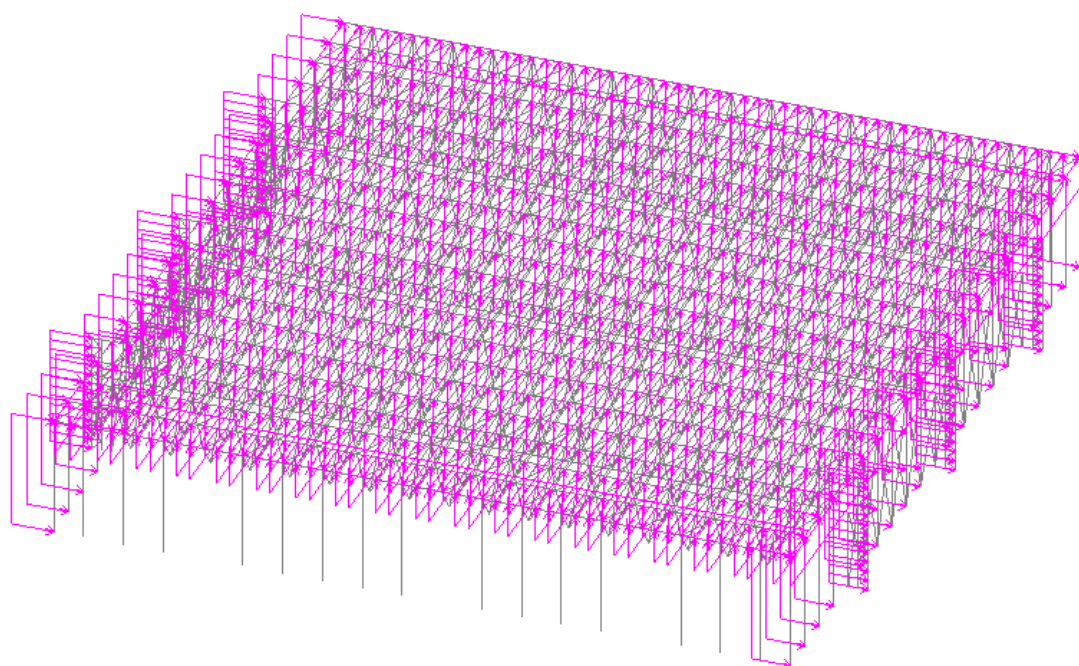


Рисунок 74- Распределение ветра по оси X

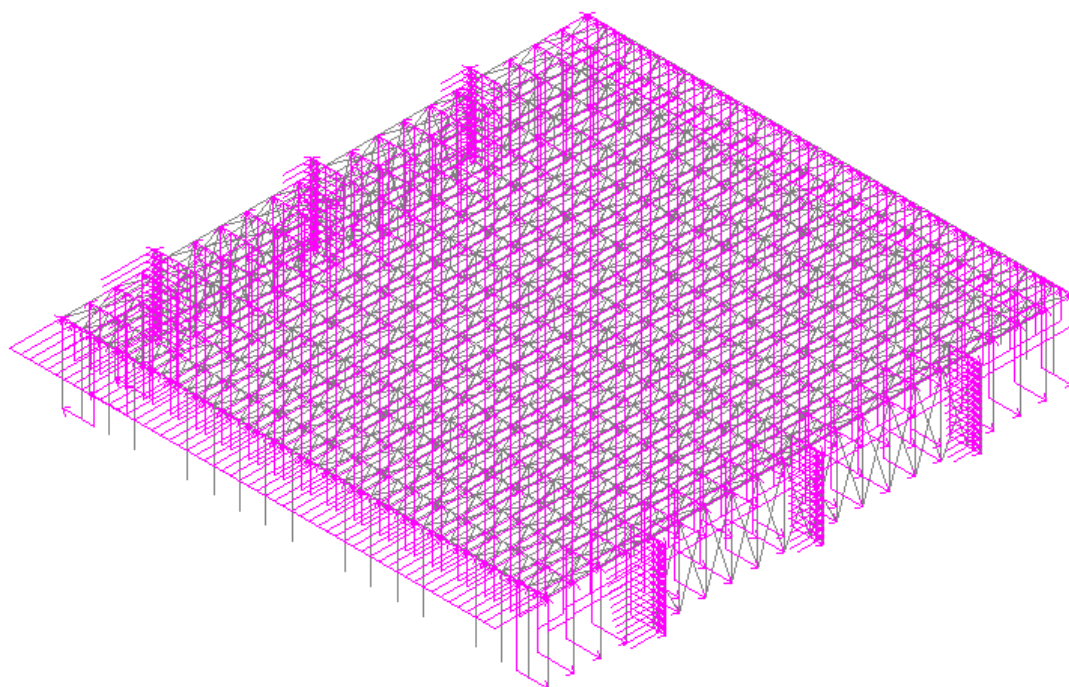


Рисунок 75- Распределение ветра по оси Y

Статическая ветровая нагрузка рассчитана в пункте 2.2.3

Задание пульсационной составляющей аналогично первому варианту показано в пункте 2.2.3.



## 2.2.6 Подбор сечений

При составлении расчетной схемы для всех элементов задали следующие жесткости трубы электросварные прямошовные по [12], а также трубы по [13]. Прогоны и балки заданы двутавровым сечением 50Б1 и 90Б1 соответственно, по [11].

Элементы расчетной схемы были унифицированы на 99 групп для того, чтобы подобрать единое сечение для элементов каждой группы.

Проведя расчет по изначально заданным сечениям, получили следующие результаты

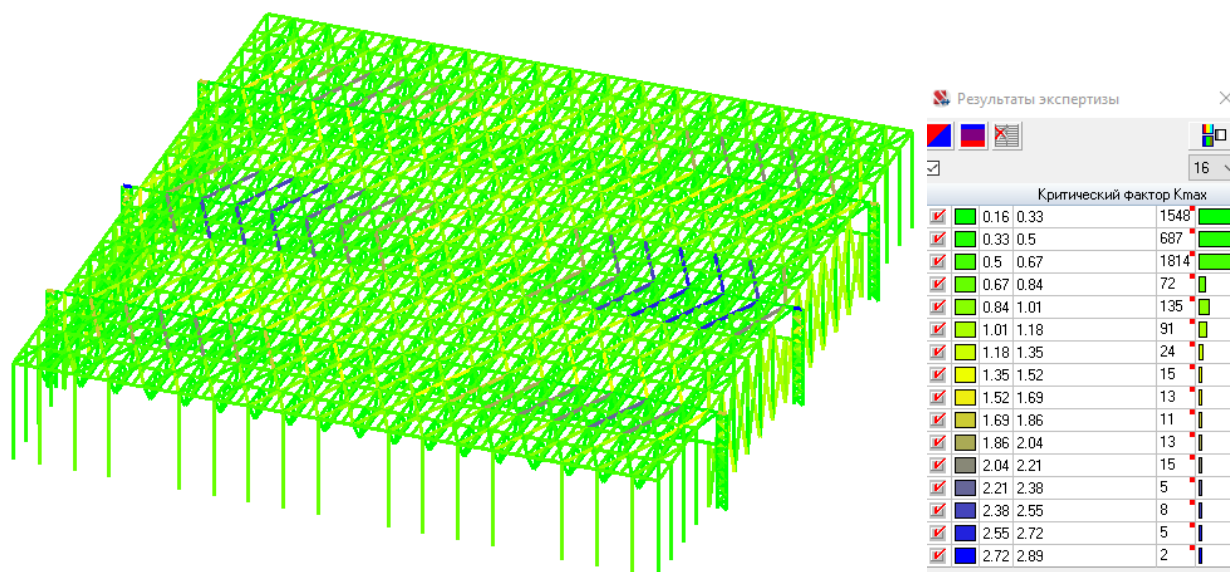
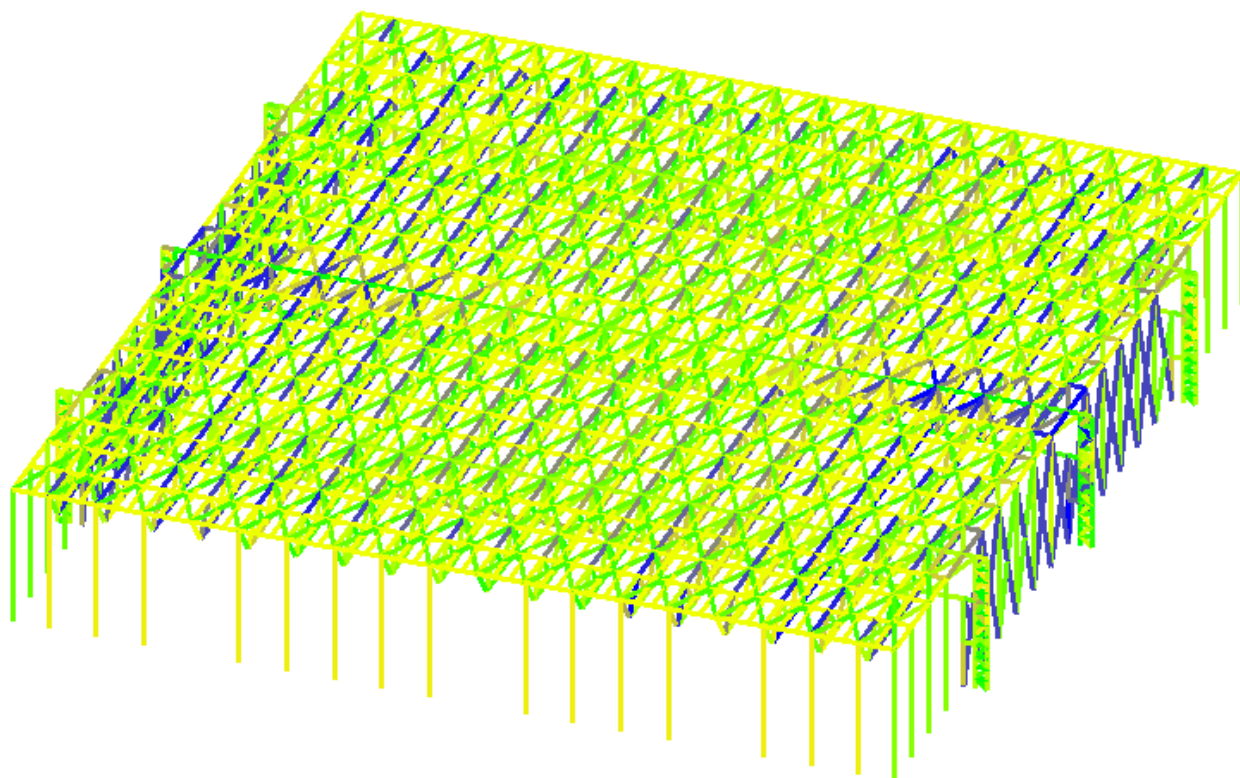


Рисунок 76- Результаты по заданным сечениям схема 2

В большинстве элементов критический фактор не превышает 1. Но есть и такие элементы, в которых он все-таки достиг значения больше, чем 1 (например: связи между колоннами, связи по покрытию).

Для предотвращения перерасхода материала у элементов с критическим фактором намного меньше 1 и определения оптимального сечения для элементов с тах критическим фактором, производим подбор сечений в SCAD. Расчет будет проводиться несколько раз.

Критический фактор для второго варианта ангара после подбора жесткостей выглядит следующим образом



Критический фактор $K_{max}$					
✓	■	0.13	0.18	75	■
✓	■	0.18	0.24	164	■
✓	■	0.24	0.29	964	■
✓	■	0.29	0.34	568	■
✓	■	0.34	0.4	138	■
✓	■	0.4	0.45	596	■
✓	■	0.45	0.5	153	■
✓	■	0.5	0.56	2863	■
✓	■	0.56	0.61	141	■
✓	■	0.61	0.66	217	■
✓	■	0.66	0.72	65	■
✓	■	0.72	0.77	131	■
✓	■	0.77	0.82	69	■
✓	■	0.82	0.88	216	■
✓	■	0.88	0.93	135	■
✓	■	0.93	0.98	33	■

Рисунок 77- Критический фактор для схемы 2

После подбора сечений для варианта ангара 2 были назначены жесткости, которые показаны на рисунках 78, 79

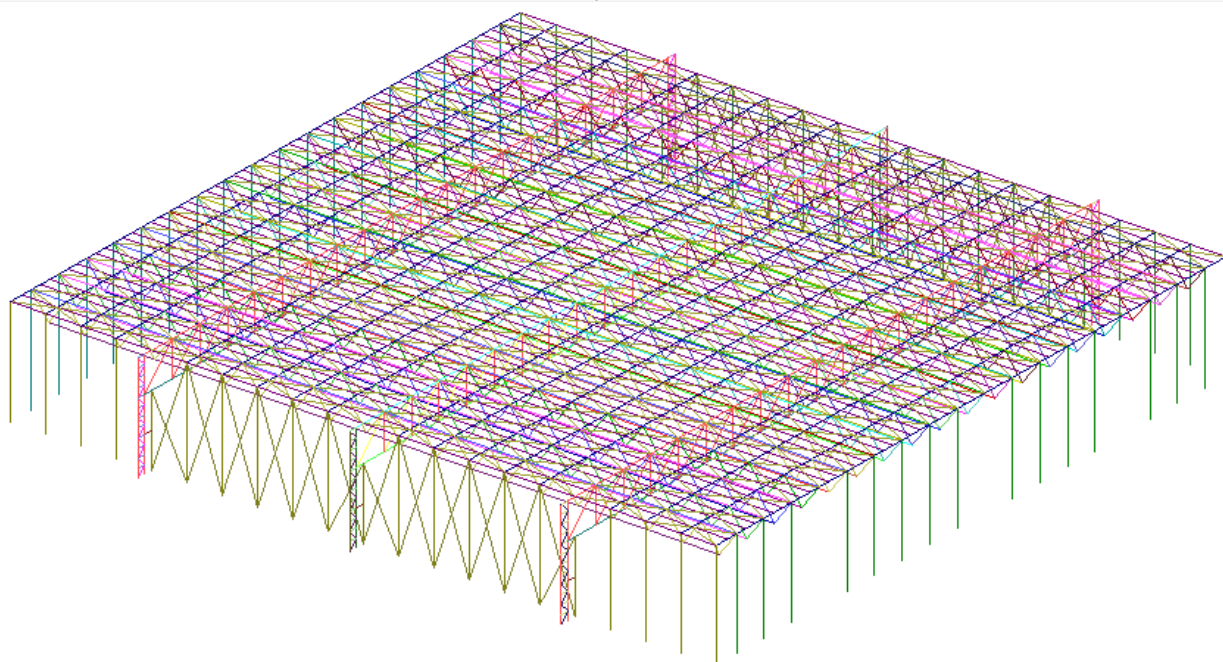
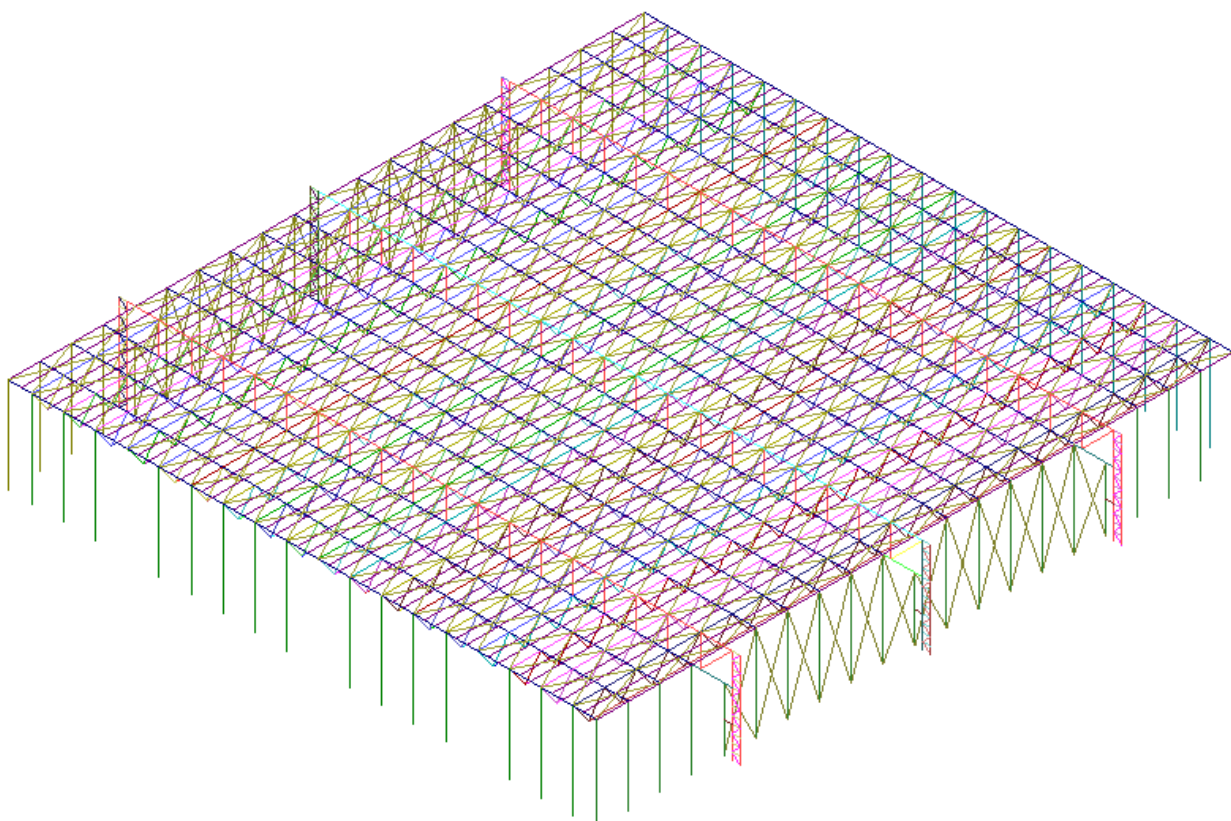


Рисунок 78- Жесткости после подбора для схемы 2

ID	Material	Dimensions	Stiffness
1	1020x8	0	
2	355.6x4	0	
3	55E1	0	
4	219x3	0	
5	1420.0x30.0	0	
6	1420.0x26.0	42	
7	426x12	15	
8	377x9	18	
9	100E4	1180	
10	60E1	1480	
11	530x8	360	
12	630x8	21	
13	720x30	21	
14	530x20	57	
15	133x2	120	
16	127x2	124	
17	140x2	80	
18	152x2	80	
19	159x2	80	
20	168x2	60	
21	76x2.5	22	
22	83x5.5	22	
23	108x5	22	
24	244.5x3	0	
25	168x8	22	
26	193.7x8	22	
27	219x9	22	
28	244.5x9	58	
29	219x9	22	
30	273x9	22	
31	159x7	22	
32	177.8x4.5	22	
33	152x3.2	22	
34	76x4	22	
35	140x5.5	22	
36	177.8x6	80	
37	102x5.5	40	
38	193.7x6	40	
39	193.7x6	40	
40	193.7x6	40	
41	193.7x8	80	
42	630x10	12	
43	530x20	12	
44	630x28	12	
45	273x8	12	
46	406.4x10	12	
47	426x6	12	
48	177.8x8	24	
49	273x9	12	
50	377x10	12	
51	244.5x9	12	
52	244.5x9	12	
53	720x28	6	
54	426x10	96	
55	1420.0x24.0	42	
56	530x12	42	
57	140x5.5	20	
58	133x5.5	22	
59	244.5x8	22	
60	159x6	40	
61	193.7x5	40	
62	193.7x8	40	
63	193.7x2	80	
64	127x5.5	40	
65	630x20	12	
66	244.5x6	1480	

Рисунок 79- Жесткости после подбора для схемы 2

## 2.2.7 Расчет каркаса здания на особые нагрузки

### Пожар

Нагрузка от пожара для второй схемы моделируется так же, как и для первой.

Для второго каркаса расположение эвакуационных выходов аналогично первому. Пожар располагаем в месте, наиболее удаленном от эвакуационных выходов. Очередность потери несущей способности конструкциями назначается согласно [8]. Пределы огнестойкости строительных конструкций приведены на рисунке 80

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется

Рисунок 80- Предел огнестойкости строительных конструкций

Конструкции выходят из строя в следующем порядке:

- 1) Часть ферм и ригеля рамы- R15;
- 2) Балки и прогоны-R15;
- 3) Связи по покрытию- R30;
- 4) Связи между колоннами-R30;
- 5) Колонны- R90.

В итоге получаются следующие результаты критического фактора для каркаса здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций

- 1) Выход из строя части ферм и ригеля рамы

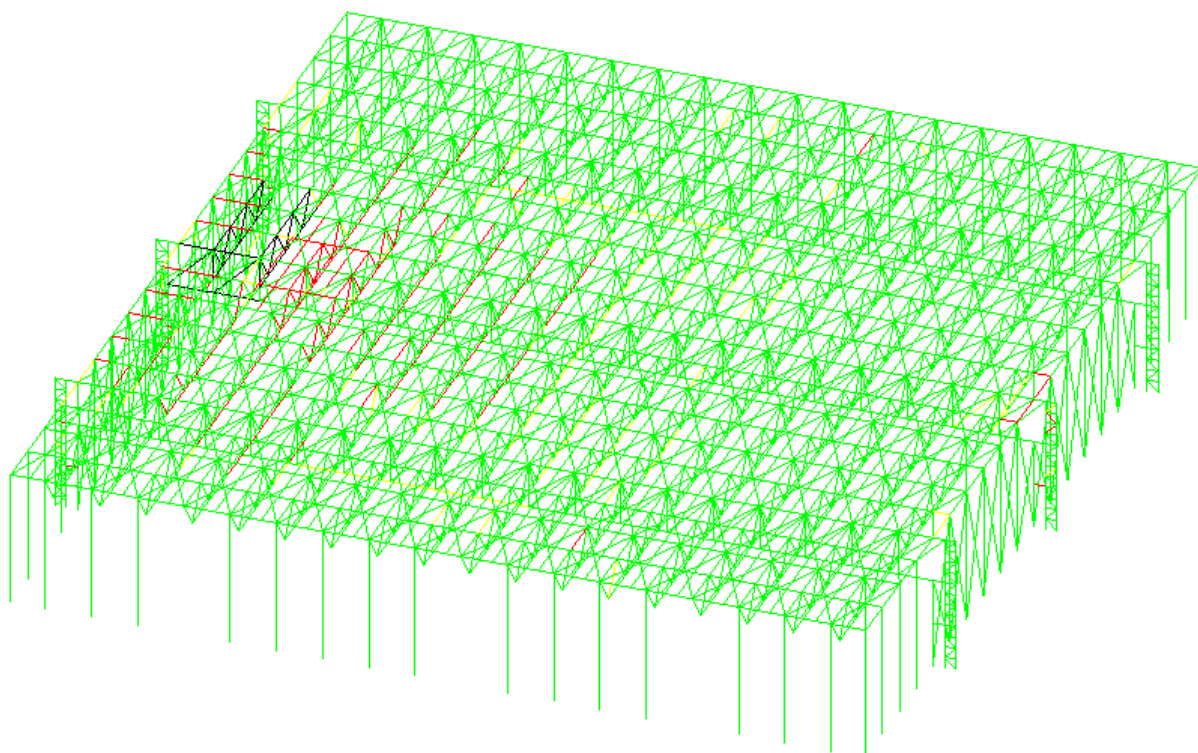


Рисунок 81- Критический фактор для каркаса здания 2 при выходе из строя части ферм и ригеля рамы

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0.09	0.9	6205	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	0.9	1.1	108	■
<input checked="" type="checkbox"/>	■	1.1	17.51	176	■

Рисунок 82- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

2) Выход из строя балок и прогонов

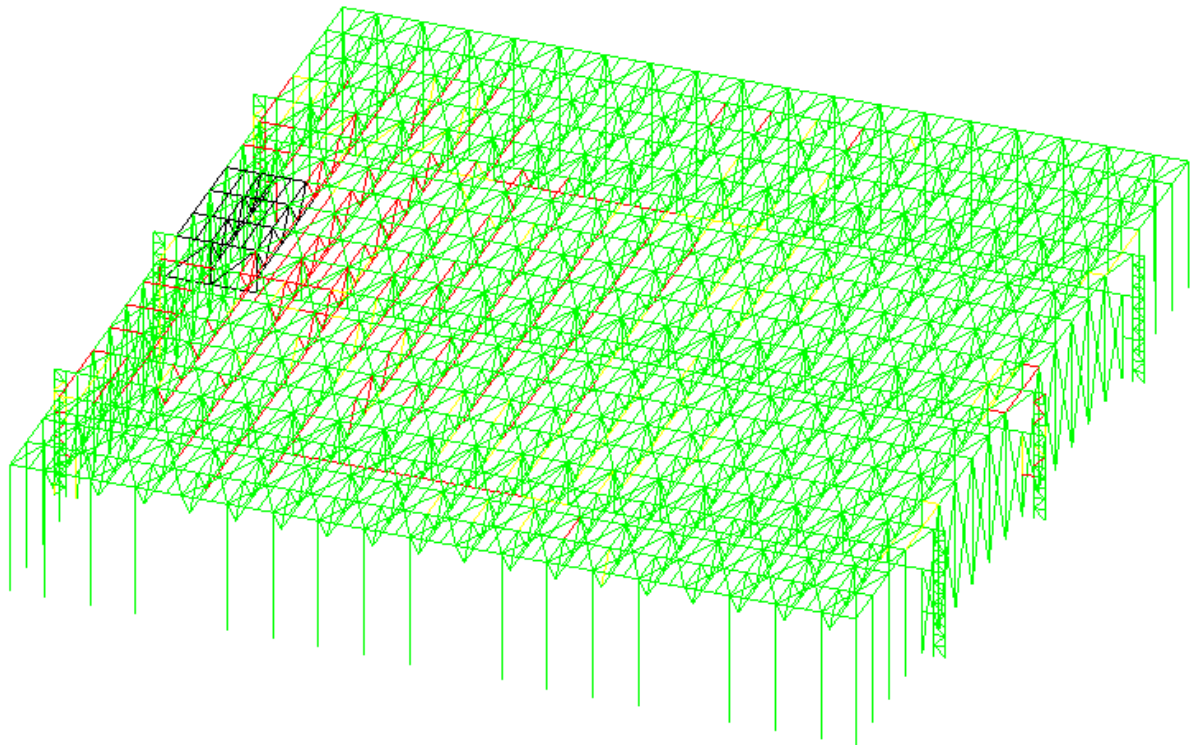


Рисунок 83- Критический фактор для каркаса здания 2 при выходе из строя балок и прогонов

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.9	6028	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.9	1.1	132	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.1	30.71	287	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 84- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

3) Выход из строя связей по покрытию

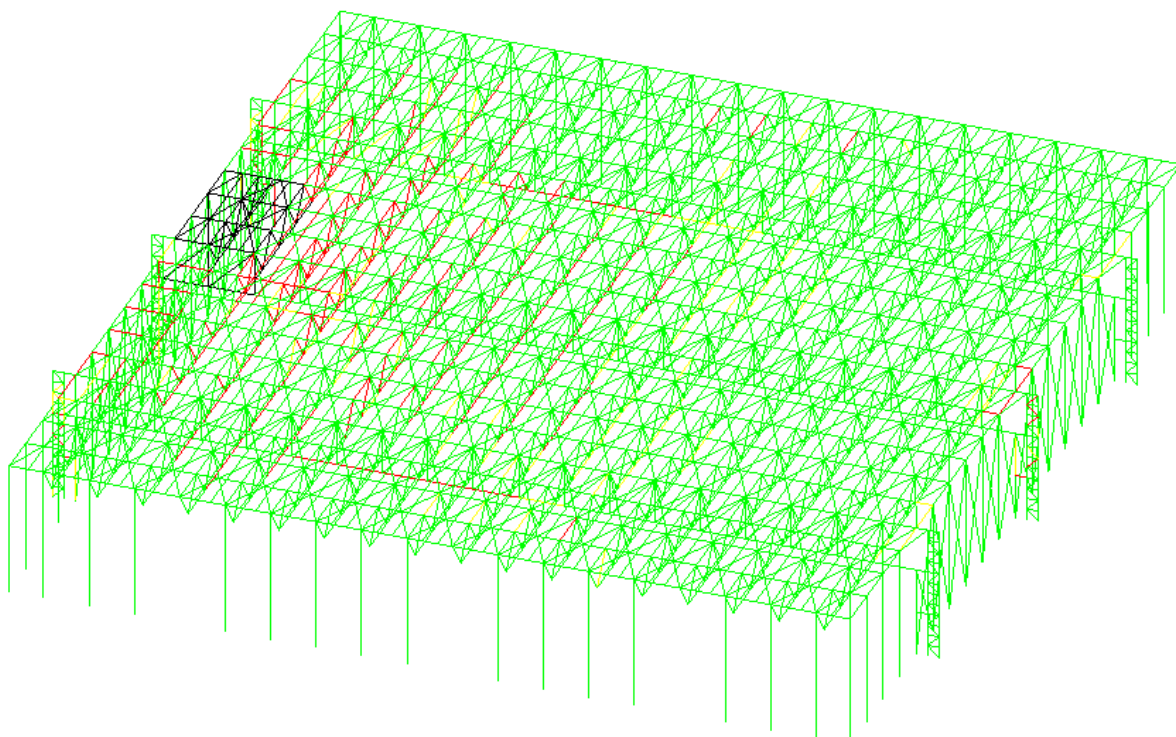


Рисунок 85- Критический фактор для каркаса здания 2 при выходе из строя связей по покрытию

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.9	6004	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.9	1.1	133	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.1	31.09	289	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 86- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

4) Выход из строя связей между колоннами

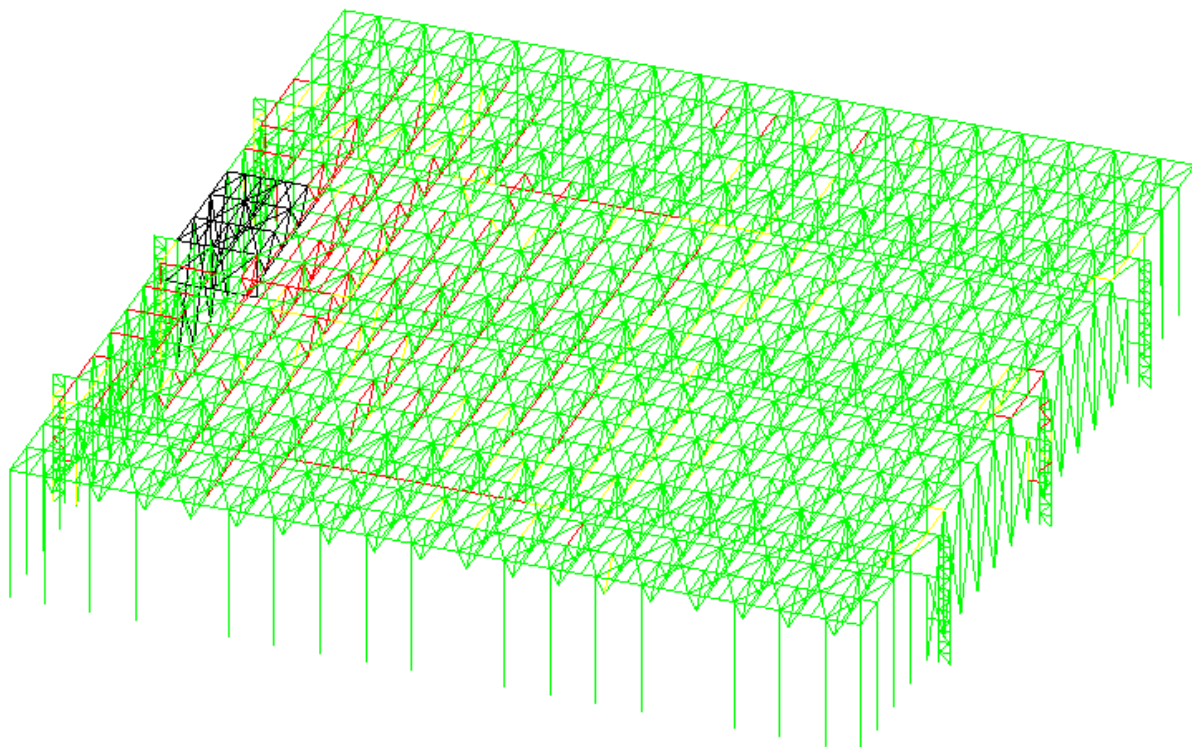


Рисунок 87- Критический фактор для каркаса здания 2 при выходе из строя связей между колоннами

Критический фактор $K_{max}$					
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.9	5992 <span style="color: red;">■</span>	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.9	1.1	133 <span style="color: red;">■</span>	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.1	31.09	289 <span style="color: red;">■</span>	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 88- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя



## 5) Выход из строя колонн

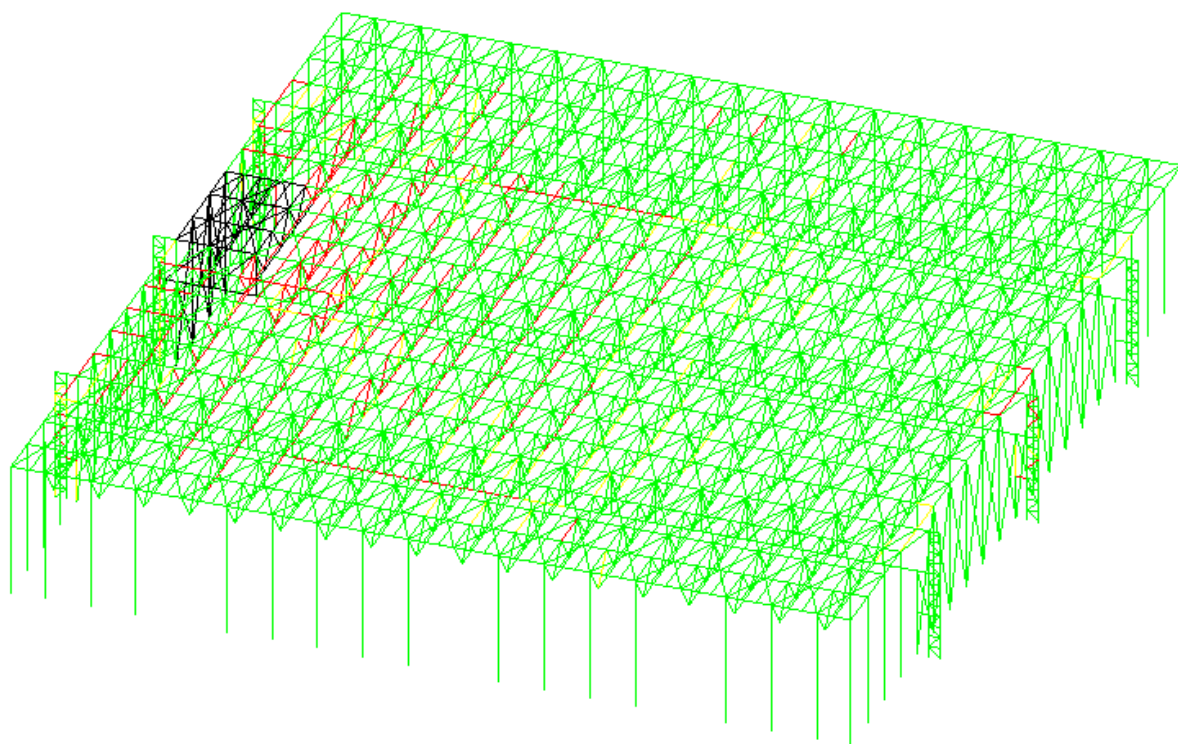


Рисунок 89- Критический фактор для каркаса здания 2 при выходе из строя колонн

		Критический фактор $K_{max}$			
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.11	0.9	5984	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.9	1.1	133	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.1	31.09	289	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 90- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

На следующем рисунке представлены деформации схемы, возникшие в результате вывода из строя конструкций во время пожара

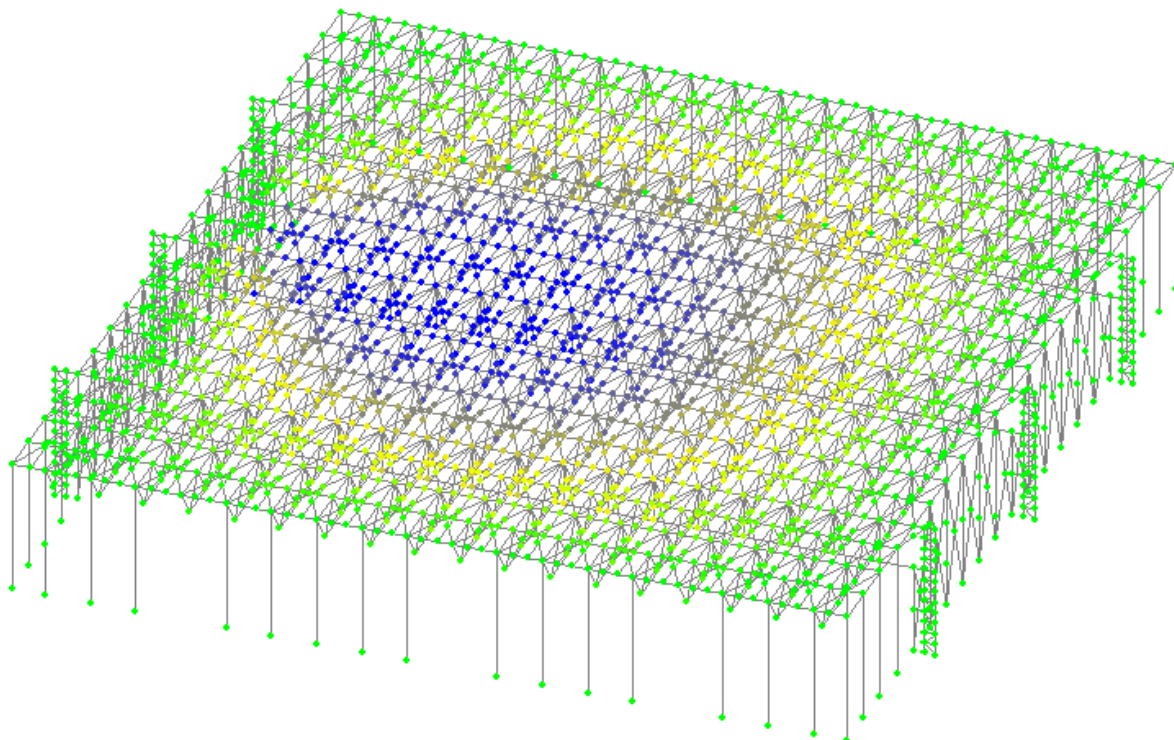


Рисунок 91- Перемещения от комбинации нагрузок

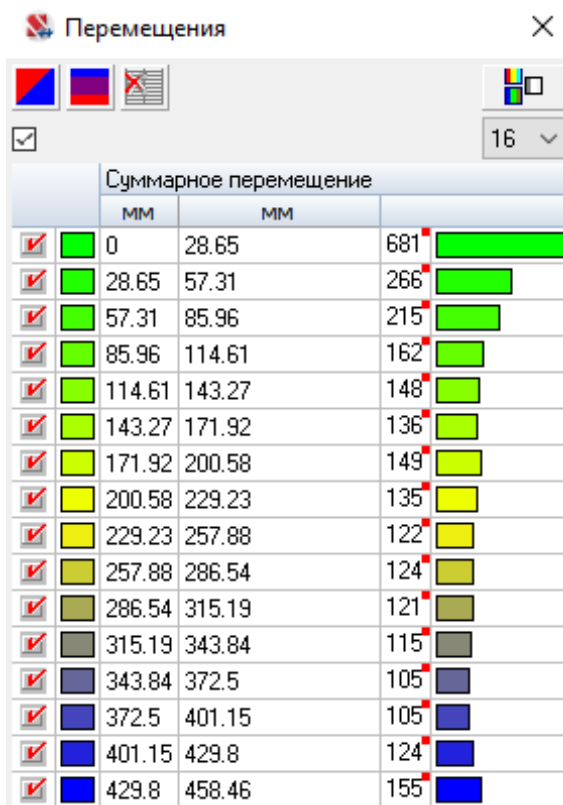


Рисунок 92- Значения перемещений комбинации нагрузок

Результаты нагрузки от пожара на схему два сведем в таблицы.

Таблица 16- Результаты при загрузении схемы 2 нагрузкой от пожара

Порядок выхода конструкций из строя	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.11-0.9	6205
	0.9-1.1	108
	1.1-17.51	176
2	0.11-0.9	6028
	0.9-1.1	132
	1.1-30.71	287
3	0.11-0.9	6004
	0.9-1.1	133
	1.1-31.09	289
4	0.11-0.9	5992
	0.9-1.1	133
	1.1-31.09	289
5	0.11-0.9	6352
	0.9-1.1	133
	1.1-31.09	289

Таблица 17- Значения перемещений

Схема до особой нагрузки/с учетом особой нагрузки	Максимальное значение перемещения, мм
Схема до особой нагрузки	308,64
Схема с учетом особой нагрузки	458,46

При приложении нагрузки от пожара на второй вариант каркаса критический фактор превысил допустимое значение у 442 элементов в основном это элементы покрытия (прогоны, балки, элементы фермы). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки увеличились на 149, 82 мм, что составляет 48,5 %. Согласно [1] максимально допустимое перемещение для данного авиационного ангара не должно превышать 370 мм, что говорит о том, что прогибы больше максимально допустимого значения. К тому же, после того как элементы, которые подвержены пожару, потеряли несущую способность, большинство элементов покрытия потеряют свою жизнеспособность.

### Внутреннее взрывное воздействие

Габариты и расположение помещений аналогично первой схеме.

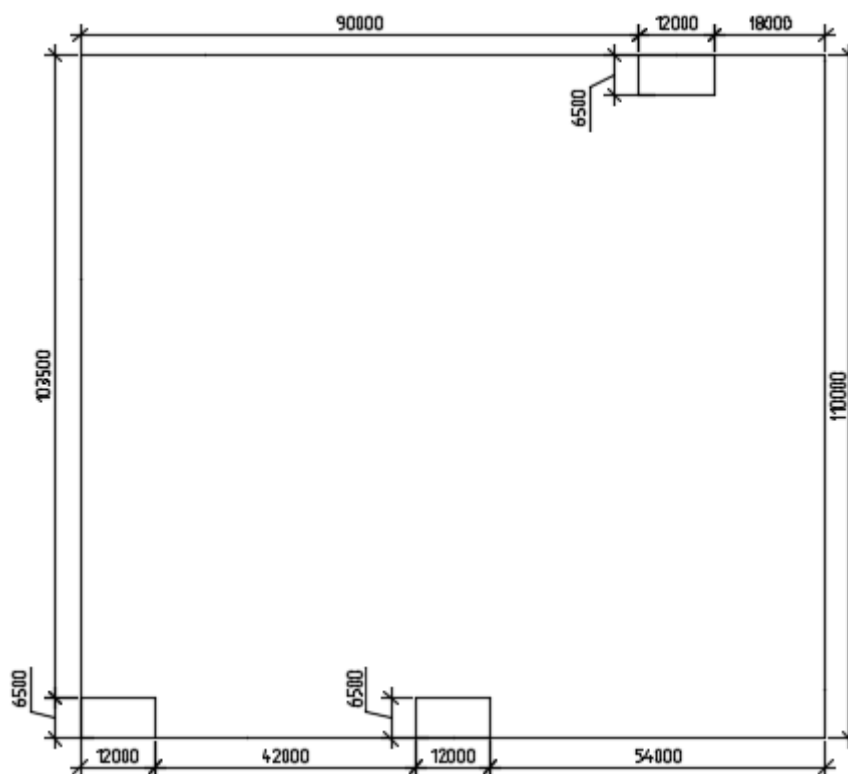


Рисунок 93- Схема размещения помещений под авиационное топливо и их габариты

В качестве вентилируемых проемов предусмотрим двери и ворота со следующими размерами: 2 двери двупольные противопожарные 2000x2400 мм, ворота распашные 3000x4500 мм.

Определим статическое давление от взрыва по формулам (1), (2)

$$p_d = 3 + p_v = 3 + 0,7 = 3,7 \text{ кПа},$$
$$p_d = 3 + 0,5 \cdot p_v + \frac{0,04}{\left(\frac{A_v}{V}\right)^2} = 3 + 0,5 \cdot 0,7 + 0,04 / \left(\frac{23,1}{936}\right)^2 = 70,01 \text{ кПа}.$$

Выбираем большее  $p_d = 70,01 \text{ кПа} = 70,01 \text{ кН/м}^2$ .

Значение давления перемножаем на грузовую площадь: для вертикальных поверхностей на колонны и фахверки с шагом 6 м, на покрытие с шагом прогонов 2 и 2,5 м.

$$\text{На колонны: } P = 70,01 \cdot 6 = 420,06 \text{ кН/м}.$$

$$\text{На прогоны: } P = 70,01 \cdot 2,5 = 175,03 \text{ кН/м}.$$

$$\text{На прогоны: } P = 70,01 \cdot 2 = 140,02 \text{ кН/м}.$$

Для второй схемы получаем следующие значения критического фактора и перемещений при первом расположении помещения

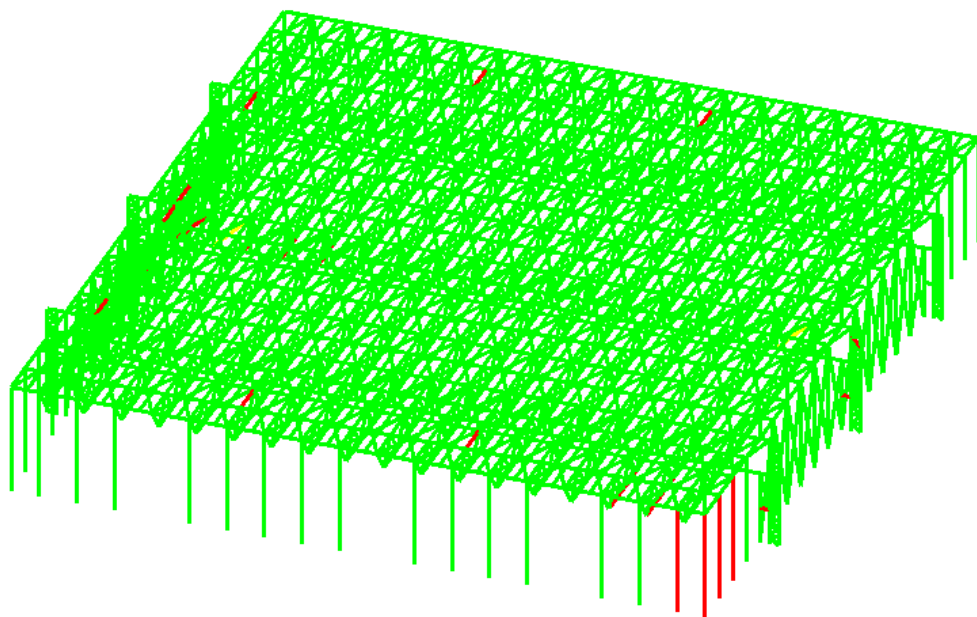


Рисунок 94- Критический фактор при первом расположении помещения при нагрузке от взрыва

Критический фактор $K_{max}$					
<input checked="" type="checkbox"/>	0.13	0.99	6499	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.99	1.01	3	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	1.01	28.19	26	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 95- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

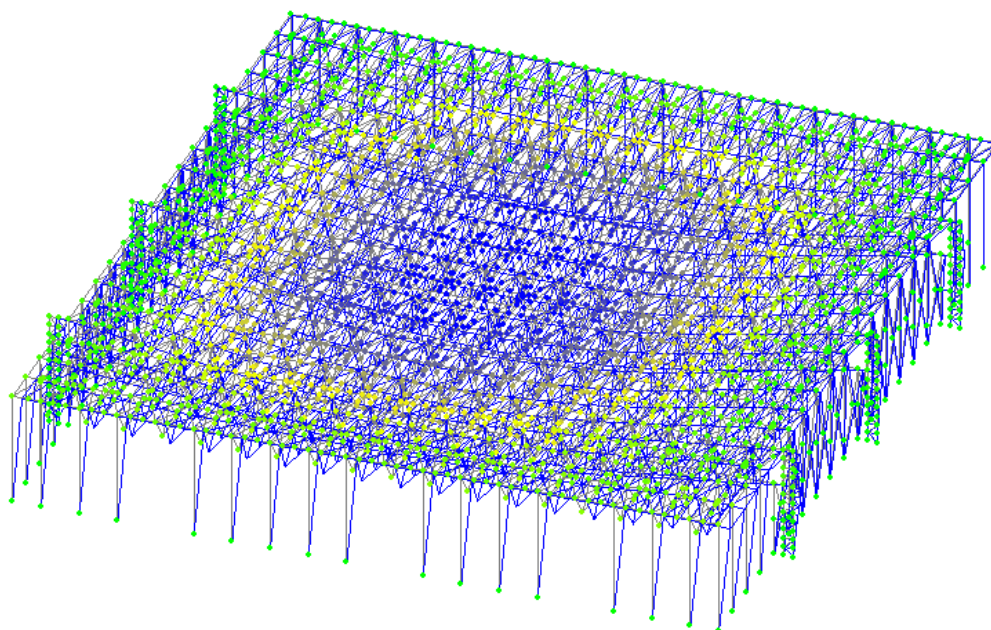


Рисунок 96- Перемещения от комбинации нагрузок

		Суммарное перемещение			
		мм	мм		
<input checked="" type="checkbox"/>	0	19.21	364		
<input checked="" type="checkbox"/>	19.21	38.42	225		
<input checked="" type="checkbox"/>	38.42	57.63	220		
<input checked="" type="checkbox"/>	57.63	76.84	311		
<input checked="" type="checkbox"/>	76.84	96.05	238		
<input checked="" type="checkbox"/>	96.05	115.26	157		
<input checked="" type="checkbox"/>	115.26	134.47	145		
<input checked="" type="checkbox"/>	134.47	153.68	156		
<input checked="" type="checkbox"/>	153.68	172.89	149		
<input checked="" type="checkbox"/>	172.89	192.09	124		
<input checked="" type="checkbox"/>	192.09	211.3	132		
<input checked="" type="checkbox"/>	211.3	230.51	123		
<input checked="" type="checkbox"/>	230.51	249.72	128		
<input checked="" type="checkbox"/>	249.72	268.93	113		
<input checked="" type="checkbox"/>	268.93	288.14	123		
<input checked="" type="checkbox"/>	288.14	307.35	155		

Рисунок 97- Значения перемещений комбинации нагрузок

Для второго помещения критический фактор и перемещения следующие

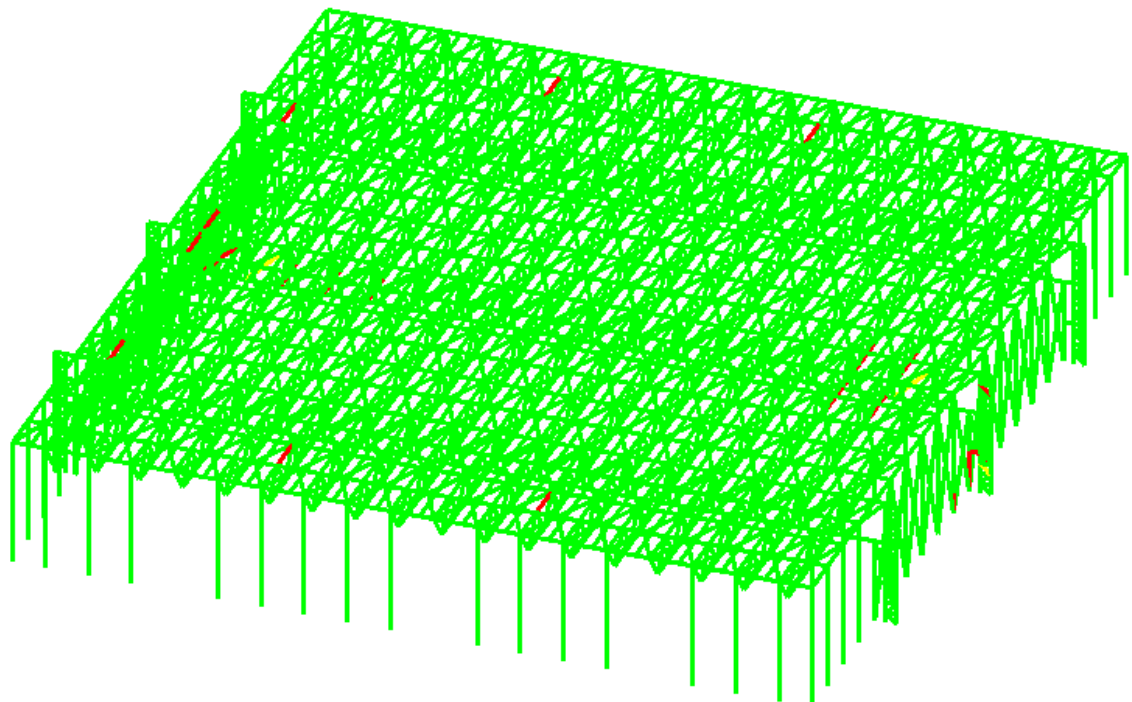


Рисунок 98- Критический фактор при втором расположении помещения при нагрузке от взрыва

		Критический фактор Kmax			
<input checked="" type="checkbox"/>	0.13	0.99	6497		
<input checked="" type="checkbox"/>	0.99	1.01	4		
<input checked="" type="checkbox"/>	1.01	2.27	27		

Рисунок 99- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

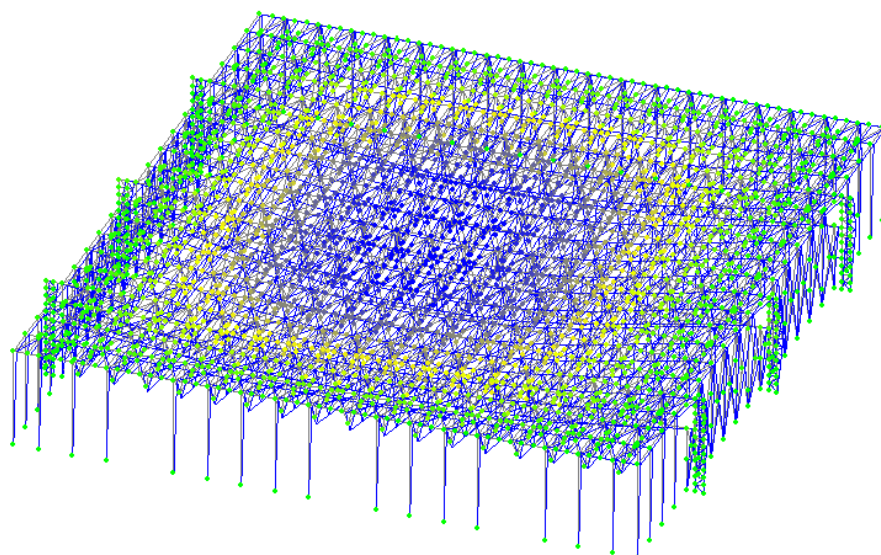


Рисунок 100- Перемещения от комбинации нагрузок

	Суммарное перемещение		
	мм	мм	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	17.93	325
<input checked="" type="checkbox"/>	17.93	35.85	430
<input checked="" type="checkbox"/>	35.85	53.78	269
<input checked="" type="checkbox"/>	53.78	71.71	219
<input checked="" type="checkbox"/>	71.71	89.64	154
<input checked="" type="checkbox"/>	89.64	107.56	151
<input checked="" type="checkbox"/>	107.56	125.49	137
<input checked="" type="checkbox"/>	125.49	143.42	144
<input checked="" type="checkbox"/>	143.42	161.35	140
<input checked="" type="checkbox"/>	161.35	179.27	130
<input checked="" type="checkbox"/>	179.27	197.2	136
<input checked="" type="checkbox"/>	197.2	215.13	119
<input checked="" type="checkbox"/>	215.13	233.06	123
<input checked="" type="checkbox"/>	233.06	250.98	113
<input checked="" type="checkbox"/>	250.98	268.91	125
<input checked="" type="checkbox"/>	268.91	286.84	148

Рисунок 101- Значения перемещений комбинации нагрузок

Для третьего помещения критический фактор и перемещения следующие

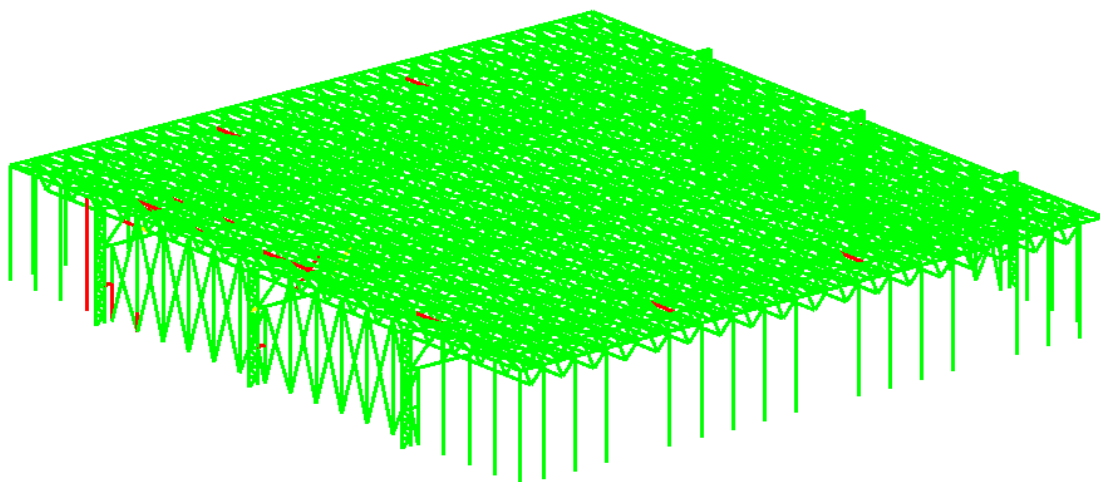


Рисунок 102- Критический фактор при третьем расположении помещения при нагрузке от взрыва

Критический фактор Kmax					
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0.13	0.99	6495	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	0.99	1.01	4	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	1.01	1.92	29	<span style="color: red;">■</span>

Рисунок 103- Значения критического фактора и количество элементов, вышедших из строя

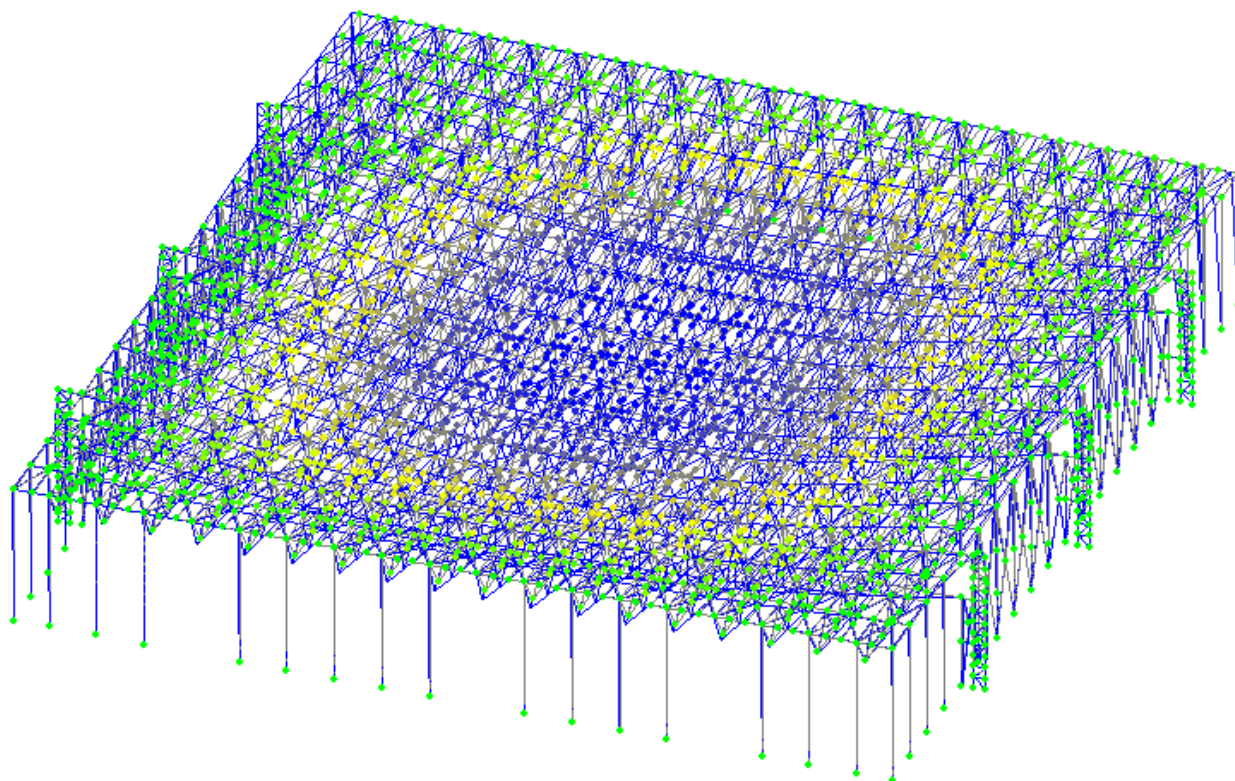


Рисунок 104- Перемещения от комбинации нагрузок

Суммарное перемещение					
		мм	мм		
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	0	18.77	407	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	18.77	37.54	296	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	37.54	56.32	342	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	56.32	75.09	204	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	75.09	93.86	166	<span style="color: green;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	93.86	112.63	141	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	112.63	131.4	137	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	131.4	150.17	144	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	150.17	168.95	146	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	168.95	187.72	126	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	187.72	206.49	124	<span style="color: yellow;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: grey;">■</span>	206.49	225.26	122	<span style="color: grey;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: grey;">■</span>	225.26	244.03	126	<span style="color: grey;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: blue;">■</span>	244.03	262.8	108	<span style="color: blue;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: blue;">■</span>	262.8	281.58	128	<span style="color: blue;">■</span>
<input checked="" type="checkbox"/>	<span style="color: blue;">■</span>	281.58	300.35	146	<span style="color: blue;">■</span>

Рисунок 105- Значения перемещений комбинации нагрузок



Результаты нагрузки от внутреннего взрывного воздействия на схему два сведем в таблицы.

Таблица 18- Результаты при загрузении схемы 1 нагрузкой от взрыва

Номер помещения	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.13-0.99	6499
	0.99-1.01	3
	1.01-28,19	26
2	0.13-0.99	6497
	0.99-1.01	4
	1.01-2.27	27
3	0.13-0.99	6495
	0.99-1.01	4
	1.01-1.92	29

Таблица 19- Значения перемещений

Номер помещения	Схема до особой нагрузки	Схема с учетом особой нагрузки
1	308,64	307,35
2	308,64	286,84
3	308,64	300,35

При приложении внутреннего взрывного воздействия на второй вид каркаса назначили три возможных варианта расположения помещений. В итоге наибольшее количество элементов, потерявших несущую способность (33 элемента), возникло при расположении помещения по левой стороне здания у последней рамы (помещение 3). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки уменьшились до минимального значения 286,84 мм, в помещении 2, расположенном справа в средней части здания. Меньший критический фактор возник при размещении помещения 1.

Следовательно, необходимо размещать помещение с хранением авиационного топлива, как размещено помещение 1.

Экстремальное температурное воздействие

Проводим расчет согласно [3] и получаем необходимое значение нагрузки при экстремальном температурном воздействии.

Нормативное значение изменений средних температур по сечению элемента в холодное время года  $\Delta t_c$  определяется аналогично первой схеме и имеет следующее значение

$$\Delta t_c = t_c - t_{ow} = -22,18 - 11,17 = -33,35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Прикладываем рассчитанное значение температуры в ПК SCAD, как температурные нагрузки на стержни и получаем следующий результат

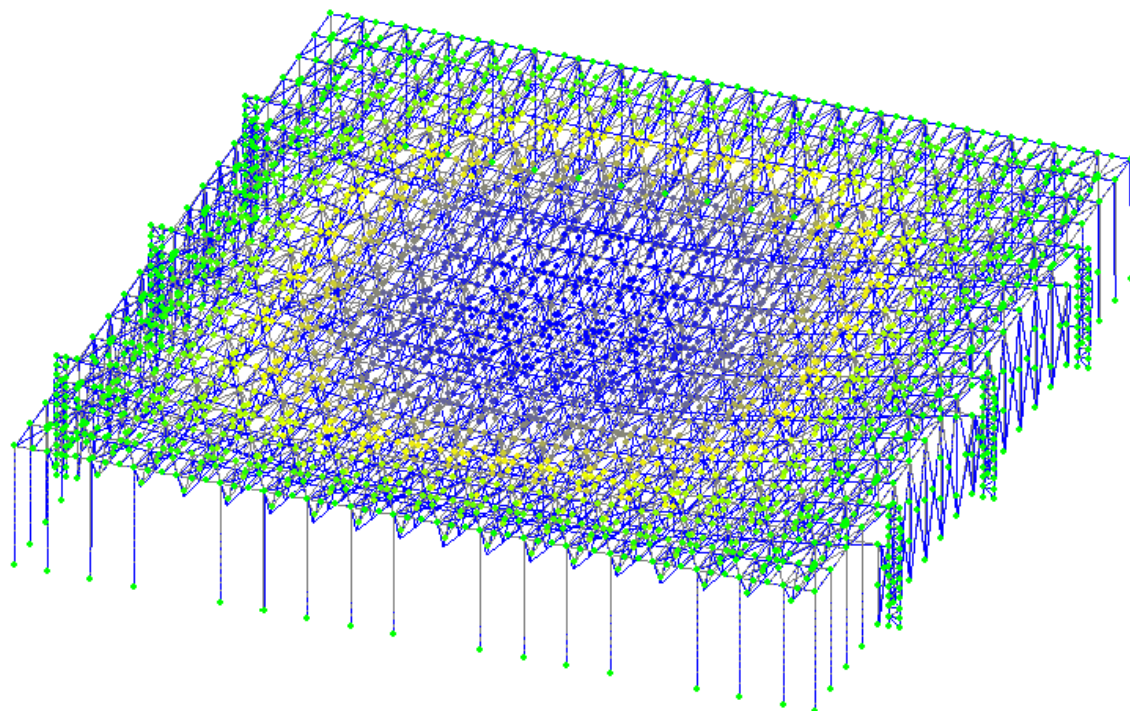


Рисунок 106- Перемещения каркаса здания при экстремальной температурной нагрузке

		Суммарное перемещение			
		мм	мм		
✓	0	19.28	629	█	
✓	19.28	38.56	229	█	
✓	38.56	57.84	218	█	
✓	57.84	77.11	174	█	
✓	77.11	96.39	156	█	
✓	96.39	115.67	151	█	
✓	115.67	134.95	131	█	
✓	134.95	154.23	147	█	
✓	154.23	173.51	135	█	
✓	173.51	192.78	127	█	
✓	192.78	212.06	129	█	
✓	212.06	231.34	126	█	
✓	231.34	250.62	119	█	
✓	250.62	269.9	112	█	
✓	269.9	289.18	129	█	
✓	289.18	308.45	151	█	

Рисунок 107- Значения перемещений от комбинации нагрузок

Критический фактор имеет следующий вид

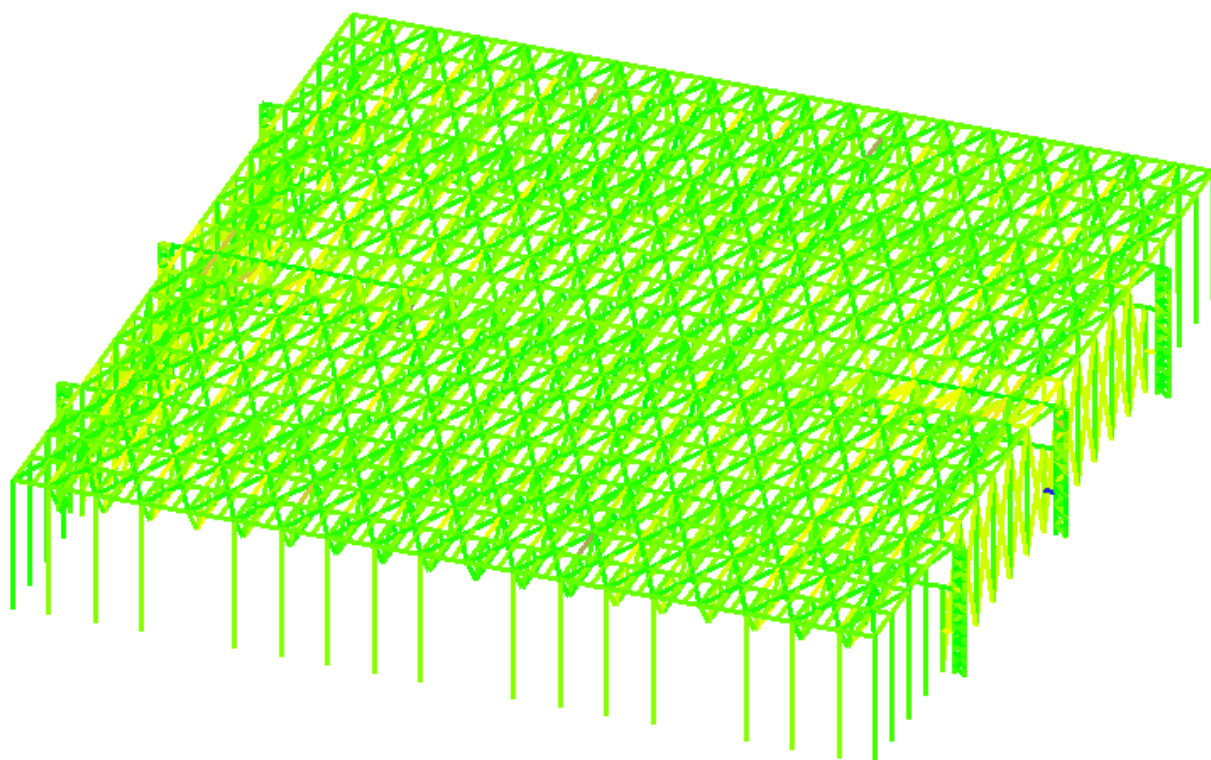


Рисунок 108- Критический фактор при экстремальной температурной нагрузке

Критический фактор Kmax					
✓	0.13	0.24	195		
✓	0.24	0.34	1471		
✓	0.34	0.44	710		
✓	0.44	0.55	1638		
✓	0.55	0.65	1802		
✓	0.65	0.76	207		
✓	0.76	0.86	293		
✓	0.86	0.97	186		
✓	0.97	1.07	14		
✓	1.07	1.18	6		
✓	1.18	1.28	2		
✓	1.28	1.39	2		
✓	1.39	1.49	0		
✓	1.49	1.6	0		
✓	1.6	1.7	1		
✓	1.7	1.81	1		

Рисунок 109- Значения критического фактора при экстремальной температурной нагрузке

Результаты нагрузки от экстремального температурного воздействия на схему два сведем в таблицы.

Таблица 20- Результаты при загрузке схемы 2 нагрузкой от температурного воздействия

Наименование загрузки	Значение критического фактора	Количество элементов
Экстремальное температурное воздействие	0.97-1.07	14
	1.07-1.18	6
	1.18-1.28	2
	1.28-1.39	2
	1.6-1.7	1
	1.7-1.81	1

Таблица 21- Значения перемещений

Наименование загрузки	Максимальное перемещение, мм
Схема до особой нагрузки	308,64
Схема с учетом особой нагрузки	308,45

Так как схема 2 имеет несущие конструкции внутри относительно кровельных ограждающих конструкций, перемещения практически не изменились, но согласно значениям критического фактора, несущую способность потеряют 26 элементов.

### 2.3 Выводы по главе 2

В главе 2 были проведены численные исследования для каркасов зданий с несущими элементами снаружи и внутри относительно кровельных ограждающих конструкций. Произведена компоновка каркаса и сбор нагрузок для двух схем.

В результате расчета на основные виды нагрузок все элементы были разбиты на группы и унифицированы, далее сделан подбор сечений для унифицированных элементов с помощью ПК SCAD. При самой неблагоприятной комбинации нагрузок наибольшие значения перемещений для схемы 1 равны 241,74 мм, а для схемы 2 308,64 мм, максимально допустимые прогибы для данного здания пролетом 111 м по [1] не должны превышать 370 мм. Можно сделать вывод, что оба здания являются работоспособными.

Важнейшим пунктом главы является пункт, где выполняется расчет на особые виды нагрузок. В настоящей работе 2 схемы с разным расположением несущих конструкций рассчитывались на нагрузку от воздействия пожара, на внутреннее взрывное воздействие, а также на экстремальное температурное воздействие.

При расчете на воздействие от пожара было выяснено, что в первой схеме в момент, когда предел огнестойкости будет превзойден у всех конструкций, которые будут подвержены воздействию огня, у 47 элементов критический фактор достигнет значения больше единицы, а деформации достигнут значения 262,56 мм, что на 20,82 мм больше, чем у этой же схемы при основной комбинации нагрузок. У второй схемы при пожаре из строя выйдет уже большее количество элементов, а именно 422. Деформации достигли значения 458,46 мм, что на 149,82 мм больше, чем на схеме с основными нагрузками.

При расчете на внутреннее взрывное воздействие для схемы один выгоднее всех было размещение помещения справа в средней части здания, так как из строя вышло меньшее количество элементов 4, а деформации уменьшились по сравнению с теми, что были без учета особого воздействия, и стали равны 227,11 мм. Для второй же схемы при лучшем расположении помещения (по левой стороне здания, у последней основной рамы) работоспособность потеряли 29 элементов, а деформации уменьшились до значения 307,35 мм.

При расчете на экстремальное температурное воздействие для схемы один, где ригели основных рам и фермы располагаются снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций, выявлено, что перемещения увеличились на 78,7 мм, а из строя выходит только 1 элемент. У второй схемы, где ригели основных рам и фермы находятся внутри относительно кровельных ограждающих конструкций, деформации практически не изменились, а вот из строя вышло 26 элементов.

Следовательно, с точки зрения безопасности лучше первый вариант вертолетного ангара.

### Глава 3. Выбор оптимального варианта каркаса и разработка конструктивных решений

В данной главе будет произведен анализ расчетов, выполненных во второй главе, на основании которого будет выбран оптимальный каркас вертолетного ангара. А также будут приведены некоторые конструктивные решения для выбранного каркаса.

#### 3.1 Анализ результатов расчета и их сопоставление

Для того что бы выполнить анализ расчета выполним сопоставление критического фактора и значений перемещений в таблицах для первой и второй схем.

Таблица 22- Сопоставление значений критического фактора и элементов, вышедших из строя для схем 1 и 2

Наименование особой нагрузки	Значение критического фактора		Количество элементов	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Пожар (предел огнестойкости превзойден у всех конструкций, которые подвержены воздействию огня)	0.11-0.9	0.11-0.9	6352	6352
	0.9-1.1	0.9-1.1	22	133
	1.1-2.84	1.1-31.09	25	289
Внутреннее взрывное воздействие	0.11-0.9	0.13-0.99	6476	6499
	0.9-1.01	0.99-1.01	0	3
	1.01-1,6	1.01-28,19	4	26
Экстремальное температурное воздействие	0.94-1	0.97-1.07	4	14
	1.06-1.13	1.07-1.18	1	6
	-	1.18-1.28	-	2
	-	1.28-1.39	-	2
	-	1.6-1.7	-	1
	-	1.7-1.81	-	1

Таблица 23- Сопоставление значений перемещений для схем 1 и 2

Наименование особой нагрузки	Перемещения до особой нагрузки, мм		Перемещения с учетом особой нагрузки, мм	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Пожар	241,74	308,64	262,56	458,46
Внутреннее взрывное воздействие	241,74	308,64	227,11	307,35
Экстремальное температурное воздействие	241,74	308,64	320,44	308,45

Анализируя таблицы, приведенные выше, можно сделать вывод о том, какой каркас лучше использовать в качестве ангара для вертолетов.

Сопоставив значения критического фактора, количество элементов, вышедших из строя, а также полученные при этом перемещения, очевидно, что особая нагрузка, от которой больше всего страдает каркас — это пожар (причем и для первой, и для второй схем).

Меньше всего несет ущерб первая схема от внутреннего взрывного воздействия несмотря на то, что из строя выходит большее количество элементов, нежели при температурном воздействии, перемещения здесь равны 227,11 мм, что меньше на 93,33 мм, чем при третьей особой нагрузке.

Для второй схемы безопаснее всего оказалось экстремальное температурное воздействие, где из строя вышло 26 элементов, а перемещения по сравнению с перемещениями до особой нагрузки практически не изменились.

Полагаясь на значения, приведенные в таблицах, очевидно, что каркас здания с несущими конструкциями внутри относительно кровельных ограждающих конструкций хуже сопротивляется при действии на него особых нагрузок, таких как пожар, внутреннее взрывное воздействие, при экстремальном температурном воздействии перемещения остаются прежними, а вот количество элементов, вышедших из строя, больше, чем в первом каркасе.

Основываясь, на всех результатах и выводах, сделанных выше, в качестве оптимального каркаса для вертолетного ангара выбираем каркас с несущими конструкциями снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций.

### 3.2 Разработка конструктивных решений

Выполним проверку сечений, подобранных в ПК SCAD, на примере ригеля рамы 2 (Pr2).

1) Верхний пояс ригеля рамы.

Согласно ПК SCAD возникают следующие усилия

$$N = -20021 \text{ кН}, M_x = -0,47 \text{ кН} \cdot \text{м}, M_y = 1405,16 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчет на прочность внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) и внецентренно растянутых (растянуто-изгибаемых) элементов из стали, не подвергающихся непосредственному воздействию динамических нагрузок

$$\left(\frac{N}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c}\right)^n + \frac{M_x}{c_x \cdot W_{xn, \min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y \cdot W_{yn, \min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (22)$$

где  $N, M_x, M_y$  - абсолютные значения соответственно продольной силы, изгибающих моментов при наиболее неблагоприятном их сочетании;

$n, c_x, c_y$  - коэффициенты, принимаемые согласно [4, табл. Е1];

$A_n$  - площадь сечения,  $\text{м}^2$ ;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали, МПа;

$W_{xn,min}, W_{yn,min}$  – моменты сопротивления сечения относительно осей  $x, y$ , см<sup>3</sup>;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы.

Сталь для элементов ригеля рамы- С345 с расчетным сопротивлением  $R_y = 300$  МПа.

Коэффициенты для труб принимаются равными  $c_x, c_y = 1,26$ , коэффициент  $n=1,5$ .

Труба сечением 1220x24 мм со следующими характеристиками  $A_n = 901,76$  см<sup>2</sup>,  $W_{xn,min} = W_{yn,min} = 26442,94$  см<sup>3</sup>.

Подставляем значения в формулу (22)

$$\left(\frac{20021 \cdot 10^3}{0,09 \cdot 300000 \cdot 10^3}\right)^{1,5} + \frac{0,47 \cdot 10^3}{1,26 \cdot 0,026 \cdot 300000 \cdot 10^3} + \frac{1405,16}{1,26 \cdot 0,026 \cdot 300000 \cdot 10^3} \leq 1,$$

$$0,78 < 1,$$

Условие выполняется.

Согласно [4, п. 10.2.5] для пространственных решетчатых конструкций расчетные длины  $l_{ef}$  и радиусы инерции  $i$  элементов из труб следует принимать согласно [12, п. 10.1.1-10.1.3], т.е. как в плоских фермах.

Согласно [12, п. 10.1.1, таблица 24] для ферм, с прикреплением элементов решетки к поясам впритык.

Для поясов  $l_{ef,x} = l_{ef,y} = l$ , т.е.  $\mu = 1$ .

Для других элементов решетки  $l_{ef,x} = 0,9l, l_{ef,y} = l$ .

Расчет на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) стержней сплошного постоянного сечения, кроме коробчатого, из плоскости действия момента при изгибе их в плоскости наибольшей жесткости совпадающей с плоскостью симметрии

$$\frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (23)$$

где  $N$  - абсолютное значение продольной силы при наиболее неблагоприятном сочетании;

$c$  - коэффициент, определяемый согласно требованиям [4, п. 9.2.5];

$\varphi_y$  - коэффициент устойчивости при центральном сжатии по [4, п. 7.1.3];

$A$  - площадь поперечного сечения элемента.

Эксцентриситет определяется по формуле

$$e = \frac{M}{N} = \frac{1405,16}{20021} = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ см}. \quad (24)$$



Относительный эксцентриситет

$$m = e \cdot \frac{A}{W_c} = 0,07 \cdot \frac{0,09}{0,026} = 0,24, \quad (25)$$

где  $W_c$  – момент сопротивления сечения, вычисленный для наиболее сжатого волокна.

Наименьшая гибкость элемента определяется по формуле

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{6}{0,42} = 14,29, \quad (26)$$

где  $i_y$  – радиус инерции сечения, см;

$l_{ef,y}$  – расчетная длина элемента, см.

Условная гибкость определяется по формуле

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 14,29 \cdot \sqrt{\frac{300000 \cdot 10^3}{206010007,55 \cdot 10^3}} = 0,545, \quad (27)$$

Коэффициент  $c$  в формуле (23), при значениях  $m \leq 5$  следует определять по формуле

$$c = \frac{\beta}{(1 + \alpha \cdot m_x)} \leq 1, \quad (28)$$

где  $\alpha, \beta$  – коэффициенты, определяемые по [4, табл. 21].

$$\alpha = 0,7, \beta = 1.$$

$$c = \frac{1}{(1 + 0,7 \cdot 0,24)} = 0,86 \leq 1,$$

При значениях  $\bar{\lambda}_y < 0,6$   $\varphi_y$  следует принимать 1.

Выполним расчет на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) стержней по (23)

$$\frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{20021 \cdot 10^3}{0,86 \cdot 1 \cdot 0,09 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,86 \leq 1.$$

Расчет на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) элементов постоянного сечения плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (29)$$

где  $N$  - абсолютное значение продольной силы при наиболее неблагоприятном сочетании;

$\varphi_e$  - коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом, определяемый по [4, табл. Д.3], в зависимости от условной гибкости и приведенного относительного эксцентриситета;

$A$  - площадь поперечного сечения элемента.

Определим наименьшую гибкость элемента

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{6}{0,42} = 14,29.$$

Определим условную гибкость

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_x}{E}} = 14,29 \cdot \sqrt{\frac{300000 \cdot 10^3}{206010007,55 \cdot 10^3}} = 0,545.$$

Эксцентриситет определяется по (24)

$$e = \frac{M}{N} = \frac{0,47}{20021} = 0,000023 \text{ м} = 0,0023 \text{ см}.$$

Относительный эксцентриситет по (25)

$$m = e \cdot \frac{A}{W_c} = 0,000023 \cdot \frac{0,09}{0,026} = 0,000079,$$

где  $W_c$  - момент сопротивления сечения, вычисленный для наиболее сжатого волокна.

Коэффициент влияния формы сечения  $\eta$  определяем по [4, Д.2]

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda} = (1,35 - 0,05 \cdot 0,000079) - 0,01(5 - 0,000079)0,545 = 1,32.$$

Приведенный относительный эксцентриситет определяется по формуле

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 0,000079 \cdot 1,32 = 0,0001, \quad (30)$$

Определяем  $\varphi_e = 0,967$ .

Проверка устойчивости относительно оси X

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{20021 \cdot 10^3}{0,967 \cdot 0,09 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,77 < 1.$$

Условия выполняются.

Расчет гибкости

Гибкости  $\lambda_x$  и  $\lambda_y$  не должны превышать предельных значений, приведенных в [4, табл. 32]. Для плоских ферм, структурных конструкций и пространственных конструкций из труб или парных уголков высотой до 50 м

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot \alpha, \quad (31)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый не менее 0,5.

Коэффициент  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}. \quad (32)$$

В плоскости X

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{20021 \cdot 10^3}{0,967 \cdot 0,09 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,77.$$

В плоскости Y

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{20021 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,09 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,74.$$

В плоскости X предельная гибкость равна

$$\begin{aligned} [\lambda] &= 180 - 60 \cdot 0,77 = 133,8, \\ \lambda_x &= \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{6}{0,42} = 14,29 < 133,8. \end{aligned}$$

В плоскости Y

$$\begin{aligned} [\lambda] &= 180 - 60 \cdot 0,74 = 135,6, \\ \lambda_y &= \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{6}{0,42} = 14,29 < 135,6. \end{aligned}$$

Гибкость элемента обеспечена.

Полученный результат в SCAD

Проверка		Коз.фициент	
Прочность элемента	п. 7.1.1	0.81	
Устойчивость элемента в плоскости фермы	п. 7.1.3	0.81	
Устойчивость элемента из плоскости фермы	п. 7.1.3	0.81	
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0.3	
Предельная гибкость из плоскости фермы	п. 10.4.1	0.11	
Предельная гибкость в плоскости фермы	п. 10.4.1	0.11	

Рисунок 110- Результат проверки в ПК SCAD

## 2) Нижний пояс

Согласно ПК SCAD возникают следующие усилия

$$N=10357,1 \text{ кН}, M_x = -0,17 \text{ кН} \cdot \text{м}, M_y = 307,29 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчет на прочность внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) и внецентренно растянутых (растянуто-изгибаемых) элементов из стали, не подвергающихся непосредственному воздействию динамических нагрузок определяем по формуле (22).

Сталь для элементов ригеля рамы- С345 с расчетным сопротивлением  $R_y = 300 \text{ МПа}$ .

Коэффициенты для труб принимаются равными  $c_x, c_y = 1,26$ , коэффициент  $n=1,5$ .

Труба сечением 720x25 мм со следующими характеристиками  $A_n = 545,85 \text{ см}^2, W_{xn,min} = W_{yn,min} = 9166,71 \text{ см}^3$ .

Подставляем значения в формулу (22)

$$\left(\frac{10357,1 \cdot 10^3}{0,055 \cdot 300000 \cdot 10^3}\right)^{1,5} + \frac{0,17 \cdot 10^3}{1,26 \cdot 0,0092 \cdot 300000 \cdot 10^3} + \frac{307,29}{1,26 \cdot 0,0092 \cdot 300000 \cdot 10^3} = 0,6 < 1,$$

Условие выполняется.

Согласно [4, п. 10.2.5] для пространственных решетчатых конструкций расчетные длины  $l_{ef}$  и радиусы инерции  $i$  элементов из труб следует принимать согласно [12, п. 10.1.1-10.1.3], т.е. как в плоских фермах.

Согласно [12, п. 10.1.1, таблица 24] для ферм, с прикреплением элементов решетки к поясам впритык.

Для поясов  $l_{ef,x} = l_{ef,y} = l$ , т.е.  $\mu = 1$ .

Для прочих элементов решетки  $l_{ef,x} = 0,9l, l_{ef,y} = l$ .

Расчет на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) стержней сплошного постоянного сечения, кроме коробчатого, из плоскости действия момента при изгибе их в плоскости наибольшей жесткости совпадающей с плоскостью симметрии производится по формуле (23).

Определим эксцентриситет по (24)

$$e = \frac{M}{N} = \frac{307,29}{10357,1} = 0,029 \text{ м} = 2,9 \text{ см.}$$

Относительный эксцентриситет определяется по (25)

$$m = e \cdot \frac{A}{W_c} = 0,029 \cdot \frac{0,055}{0,0092} = 0,17.$$

Наименьшая гибкость элемента определяется по формуле (26)

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{6}{0,25} = 24,$$

Определим условную гибкость по (27)

$$\bar{\lambda}_y = \lambda_y \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 24 \cdot \sqrt{\frac{300000 \cdot 10^3}{206010007,55 \cdot 10^3}} = 0,916,$$

Коэффициент  $c$  в формуле (23), при значениях  $m \leq 5$  следует определять по формуле (28)

$$c = \frac{1}{(1+0,7 \cdot 0,17)} = 0,89 \leq 1,$$

При значениях  $\bar{\lambda}_y > 0,6$ ,  $\varphi_y$  следует принимать по формуле

$$\varphi = \frac{0,5 \cdot (\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}^2})}{\bar{\lambda}^2}, \quad (33)$$

Значение коэффициента  $\delta$  вычисляем по формуле

$$\delta = 9,87 \cdot (1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, определяемые по [4, табл. 7].

Принимаем  $\alpha = 0,03$  и  $\beta = 0,06$ .

Тогда

$$\delta = 9,87 \cdot (1 - 0,03 + 0,06 \cdot 0,916) + 0,916^2 = 9,87,$$

Определяем коэффициент  $\varphi_y$

$$\varphi = \frac{0,5 \cdot (9,87 - \sqrt{9,87^2 - 39,48 \cdot 0,916^2})}{0,916^2} = 1,1,$$

Расчет на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) стержней сплошного постоянного сечения

$$\frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{10357,1 \cdot 10^3}{0,89 \cdot 1,1 \cdot 0,055 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,64 \leq 1.$$

Условие выполняется

Расчет на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) элементов постоянного сечения плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле (29).

Наименьшая гибкость элемента равна

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{6}{0,25} = 24,$$

Условная гибкость определяется по формуле

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 24 \cdot \sqrt{\frac{300000 \cdot 10^3}{206010007,55 \cdot 10^3}} = 0,92.$$

Определим эксцентриситет

$$e = \frac{M}{N} = \frac{0,17}{10357,1} = 0,000016 \text{ м} = 0,0016 \text{ см}.$$

Относительный эксцентриситет будет равен

$$m = e \cdot \frac{A}{W_c} = 0,000016 \cdot \frac{0,055}{0,0092} = 0,000096.$$

Коэффициент влияния формы сечения  $\eta$  определяем по [4, Д.2]

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\overline{\lambda} = (1,35 - 0,05 \cdot 0,000096) - 0,01(5 - 0,000096)0,92 = 1,3.$$

Приведенный относительный эксцентриситет определяется по формуле (30)

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 0,000096 \cdot 1,3 = 0,00012.$$

Определяем  $\varphi_e = 0,967$ .

Проверка устойчивости относительно оси X

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{10357,1 \cdot 10^3}{0,967 \cdot 0,055 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,65 < 1.$$

Условие выполняется.

#### Расчет гибкости

Гибкости  $\lambda_x$  и  $\lambda_y$  не должны превышать предельных значений, приведенных в [4, табл. 32]. Для плоских ферм, структурных конструкций и пространственных конструкций из труб или парных уголков высотой до 50 м по формуле (31).

Коэффициент  $\alpha$  определяется по (32)

В плоскости X

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{10357,1 \cdot 10^3}{0,967 \cdot 0,055 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,65.$$

В плоскости Y

$$\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{10357,1 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 0,055 \cdot 300000 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,57.$$

В плоскости X предельная гибкость равна

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,65 = 141,$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{6}{0,25} = 24 < 141.$$

В плоскости Y

$$[\lambda] = 180 - 60 \cdot 0,57 = 145,8,$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{6}{0,25} = 24 < 145,8.$$

Гибкость элемента обеспечена.

Полученный результат в SCAD


Проверка		Коэффициент	
Прочность элемента	п. 7.1.1	0.7	
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 11.2.2	0.17	
Предельная гибкость из плоскости фермы	п. 10.4.1	0.03	
Предельная гибкость в плоскости фермы	п. 10.4.1	0.03	

Рисунок 111- Результаты, полученные в SCAD, для нижнего пояса

### 3) Раскос ригеля рамы

Значения усилий, полученный в ПК SCAD

$$N = -5344,44 \text{ кН}, M_x = 1,03 \text{ кН} \cdot \text{м}, M_y = -220,88 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сталь для элементов ригеля рамы- С345 с расчетным сопротивлением  $R_y = 300 \text{ МПа}$ .

Труба сечением 630x15 мм со следующими характеристиками  $A_n = 289,81 \text{ см}^2$ ,  $W_{xn,min} = W_{yn,min} = 4352,35 \text{ см}^3$ .

Расчет на устойчивость стержней сплошного постоянного сечения (кроме коробчатого), подверженных сжатию и изгибу в двух главных плоскостях определяем по [4, п. 9.2.9]

$$\frac{N}{\varphi_{exy} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (34)$$

где  $\varphi_{exy}$  – коэффициент, который определяется по формуле

$$\varphi_{exy} = \varphi_{ey} (0,6\sqrt[3]{c} + 0,4\sqrt[4]{c}), \quad (35)$$

из данной формулы следует определять

$\varphi_{ey}$  – коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом, определяемый по [4, табл. Д.3], зависит от условной гибкости  $\bar{\lambda}$  и приведенного относительного эксцентриситета  $m_{ef}$ , который находится по формуле (30).

Найдем относительный эксцентриситет

$$m = e \cdot \frac{A}{W_c} = 0,04 \cdot \frac{0,029}{0,00435} = 0,27.$$



Эксцентриситет равен

$$e = \frac{M}{N} = \frac{220,88}{5344,44} = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см.}$$

Условная гибкость определяется по формуле (27)

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 35,13 \cdot \sqrt{\frac{300000 \cdot 10^3}{206010007,55 \cdot 10^3}} = 1,34.$$

Наименьшая гибкость для раскоса определяется по формуле

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{7,64}{0,2175} = 35,13.$$

Коэффициент влияния формы сечения  $\eta$  определяем по [4, Д.2]

$$\eta = (1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda} = (1,35 - 0,05 \cdot 0,27) - 0,01(5 - 0,27)1,34 = 1,34 - 0,06 = 1,28.$$

Определяем приведенный относительный эксцентриситет по формуле (30)

$$m_{ef} = m \cdot \eta = 0,27 \cdot 1,28 = 0,35.$$

Определяем коэффициент по [4, табл. Д.3]. Принимаем  $\varphi_{ey} = 0,786$ .

Коэффициент  $c$  при значениях  $m \leq 5$  следует определять по формуле (28)

$$c = \frac{1}{(1+0,7 \cdot 0,27)} = 0,84 \leq 1,$$

Определим  $\varphi_{exy}$  по формуле (35)

$$\varphi_{exy} = \varphi_{ey}(0,6\sqrt[3]{c} + 0,4\sqrt[4]{c}) = 0,786(0,6\sqrt[3]{0,84} + 0,4\sqrt[4]{0,84}) = 0,75.$$

Выполним проверку раскоса на устойчивость по формуле (34)

$$\frac{5344,44}{0,75 \cdot 0,029 \cdot 300000 \cdot 1} = 0,82 < 1,$$

Следовательно, устойчивость раскоса при сжатии с изгибом в двух плоскостях обеспечена.

### 3.2.1 Расчет узлов

#### Узел 1

##### Соединение труб верхнего пояса ригеля рамы

Расчетные усилия в поясе:

$$N = 20021 \text{ кН}, M = 1405,16 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим размеры фланца для соединения поясов отправочных элементов между собой.

Необходимое расстояние от оси пояса до оси болта по формуле

$$D_6 = D + 2(S_1 + d_6 + И), \quad (36)$$

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 М56. Подставляя значения в формулу (36), получаем

$$D_6 = 1172 + 2(24 + 56 + 6) = 1344 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр фланца определяем по формуле

$$D_H = D_6 + a, \quad (37)$$

где  $a$  – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, для болта М56 принимаем 87 мм.

Наружный диаметр фланца равен

$$D_H = D_6 + a = 1344 + 87 = 1431 \text{ мм}.$$

Принимаем наружный диаметр фланца 1440 мм.

Толщину фланца определяем по формуле

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6M_{\text{max}}}{bR_y \gamma_c}} \quad (38)$$

где  $M_{\text{max}}$  – максимальный момент в соединении кНм;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали, МПа;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы;

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

$$b = D_n - D_m - 2 \cdot d_6,$$

где  $D_m$  – наружный диаметр трубы, мм.

Принимая  $D_m = 1220$  мм, получаем

$$b = 1440 - 1220 - 2 \cdot 56 = 108 \text{ мм.}$$

Подставляя значения в формулу (38), получаем

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1405,16}{0,108 \cdot 300000 \cdot 1}} = 0,51 \text{ м.}$$

Максимальная толщина листового проката для стали С345 составляет 160 мм согласно ГОСТ 19903-2015.

Тогда принимаем толщину фланца 100 мм.

Фасонки ужесточающие фланцы выполнены из стали марки С345 по ГОСТ 27772-2015.

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}1440 \times 100$  мм.

Определим количество болтов во фланцевом соединении по формуле

$$N \leq n \cdot P_{bh}, \quad (39)$$

где  $n$  – количество болтов, шт;

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

$$P_{bh} = \gamma_{b0} \cdot R_{bh} \cdot A_{bn}, \quad (40)$$

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

$R_{bh}$  – расчетное сопротивление высокопрочного болта, принимаемое для болтов М56 – 480 МПа.

Подставляя в формулу (40), получаем

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

Количество болтов

$$n = \frac{20021}{876,5} = 22,8 \text{ шт.}$$

Принимаем 24 болта.

Проверка прочности сварного шва:

Сварка – полуавтоматическая, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ,  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240$  Мпа,

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207$  Мпа.

Так как

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,9 \cdot 240}{1,05 \cdot 207} = 0,99 < 1, \text{ то расчет ведем на срез по металлу шва.}$$

Принимаем катет шва по [2, табл. 38]  $k_f = 16$  мм и проверяем прочность шва по формуле

$$\frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 0,02) l_w} \leq R_{wf}, \quad (41)$$

где  $N$  - расчетное усилие, кН;

$\beta_f$  - коэффициент, определяемый по таблице [2, 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

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01 = 3,14 \cdot 1,22 - 0,01 = 3,82 \text{ м.} \quad (42)$$

Проверка условия прочности

$$\frac{20021}{0,9 \cdot (0,016 + 0,02) 3,82} = 161,8 \leq R_{wf} = 240 \text{ Мпа.}$$

Условие прочности выполняется.

Узел 1 показан на рисунке 112

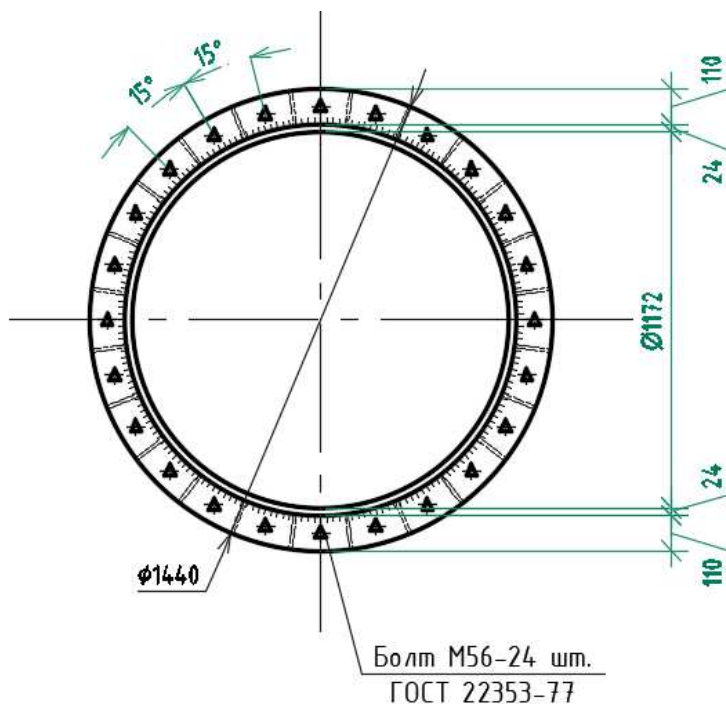


Рисунок 112- Узел 1

## Узел 2

### Соединение труб нижнего пояса ригеля рамы

Расчетные усилия в поясе:

$$N = 10357,1 \text{ кН}, M = 307,29 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим размеры фланца для соединения поясов отправочных элементов между собой.

Принимаем болты М56. Необходимое расстояние от оси пояса до оси болта определим по формуле (36)

$$D_6 = 670 + 2(25 + 56 + 6) = 844 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр фланца определяем по формуле (37)

$$D_H = D_6 + a = 844 + 87 = 931 \text{ мм}.$$

Принимаем наружный диаметр фланца 940 мм.

Толщину фланца определяем по формуле (38)

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 307,29}{0,108 \cdot 300000 \cdot 1}} = 0,23 \text{ м}.$$

Ширина ослабленного сечения фланца, м, определяемая по формуле

$$b = D_H - D_m - 2 \cdot d_6,$$

где  $D_m$  – наружный диаметр трубы, мм;  
Принимая  $D_m = 720$  мм, получаем

$$b = 940 - 720 - 2 \cdot 56 = 108 \text{ мм.}$$

Максимальная толщина листового проката для стали С345 составляет 160 мм согласно ГОСТ 19903-2015.

Тогда принимаем толщину фланца 100 мм.

Фасонки ужесточающие фланцы выполнены из стали марки С345 по ГОСТ 27772-2015.

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}940 \times 100$  мм.

Определим количество болтов во фланцевом соединении по формуле (39)

Усилие предварительного натяжения болта, определяемое по формуле (40)

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

Количество болтов

$$n = \frac{10357,1}{876,5} = 11,8 \text{ шт.}$$

Принимаем 12 болтов.

Проверка прочности сварного шва:

Сварка – полуавтоматическая, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ,  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240$  Мпа,

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207$  Мпа.

Так как

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0,9 \cdot 240}{1,05 \cdot 207} = 0,99 < 1, \text{ то расчет ведем на срез по металлу шва.}$$

Принимаем катет шва по [2, табл. 38]  $k_f = 16$  мм и проверяем прочность шва по формуле (41).

Расчетная длина сварного шва, м, принимаемая на 10 мм меньше ее полной длины, определяемая по формуле (42)

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01 = 3,14 \cdot 0,72 - 0,01 = 2,25 \text{ м.}$$

Проверка условия прочности

$$\frac{10357,1}{0,9 \cdot (0,016 + 0,02)^{2,25}} = 142,07 \leq R_{wf} = 240 \text{ Мпа.}$$

Условие прочности выполняется.

Узел 2 показан на рисунке 113

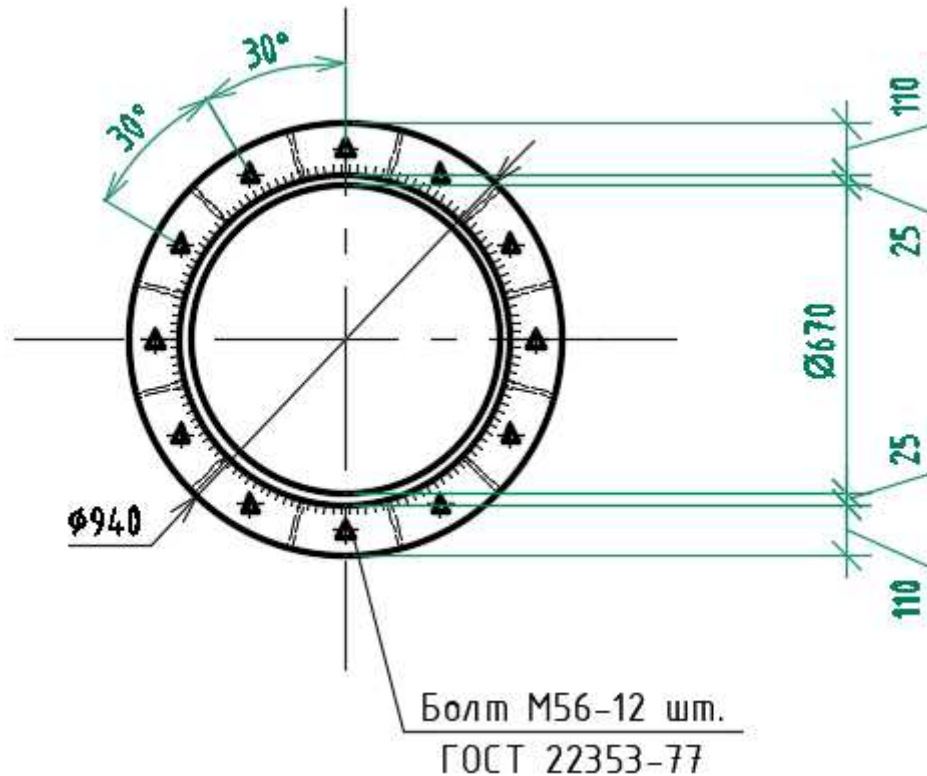


Рисунок 113- Узел 2

### Узел 3

#### Соединение труб раскоса ригеля рамы

Расчетные усилия в раскосе:

$$N = 5344,44 \text{ кН, } M = 220,88 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Определим размеры фланца для соединения поясов отправочных элементов между собой.

Принимаем болты М48. Необходимое расстояние от оси пояса до оси болта по формуле (36)

$$D_6 = 600 + 2(15 + 48 + 6) = 738 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фланца определяем по формуле (37)

$$D_H = D_6 + a,$$

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

$$D_H = D_6 + a = 738 + 80 = 818 \text{ мм.}$$

Принимаем наружный диаметр фланца 820 мм.

Толщину фланца определяем по формуле (38)

$$t_{\text{фл}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 220,88}{0,094 \cdot 300000 \cdot 1}} = 0,21 \text{ м.}$$

Ширина ослабленного сечения фланца, м, определяемая по формуле

$$b = D_H - D_m - 2 \cdot d_6,$$

где  $D_m$  – наружный диаметр трубы, мм;

Принимая  $D_m = 630$  мм, получаем

$$b = 820 - 630 - 2 \cdot 48 = 94 \text{ мм.}$$

Максимальная толщина листового проката для стали С345 составляет 160 мм согласно ГОСТ 19903-2015.

Тогда принимаем толщину фланца 100 мм.

Фасонки ужесточающие фланцы выполнены из стали марки С345 по ГОСТ 27772-2015.

Принимаем фланец размерами  $\text{Ø}820 \times 100$  мм.

Определим количество болтов во фланцевом соединении по формуле (39)

Усилие предварительного натяжения болта, определяемое по формуле (40)

$$P_{bh} = 0,9 \cdot 420000 \cdot 0,001472 = 556,4 \text{ кН.}$$

Количество болтов

$$n = \frac{5344,44}{556,4} = 9,6 \text{ шт.}$$

Принимаем 10 болтов.

Проверка прочности сварного шва:

Сварка – полуавтоматическая, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ,  $\beta_z = 1,05$ .



Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240$  Мпа,

- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207$  Мпа.

Так как

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} = \frac{0.9 \cdot 240}{1.05 \cdot 207} = 0,99 < 1, \text{ то расчет ведем на срез по металлу шва.}$$

Принимаем катет шва по [2, табл. 38]  $k_f = 8$  мм и проверяем прочность шва по формуле (41).

Расчетная длина сварного шва, м, принимаемая на 10 мм меньше ее полной длины, определяемая по формуле (42)

$$l_w = \pi \cdot D_m - 0,01 = 3,14 \cdot 0,63 - 0,01 = 1,97 \text{ м.}$$

Проверка условия прочности

$$\frac{5344,44}{0,9 \cdot (0,008 + 0,02) \cdot 1,97} = 107,7 \leq R_{wf} = 240 \text{ Мпа.}$$

Условие прочности выполняется.

Узел 3 показан на рисунке 114

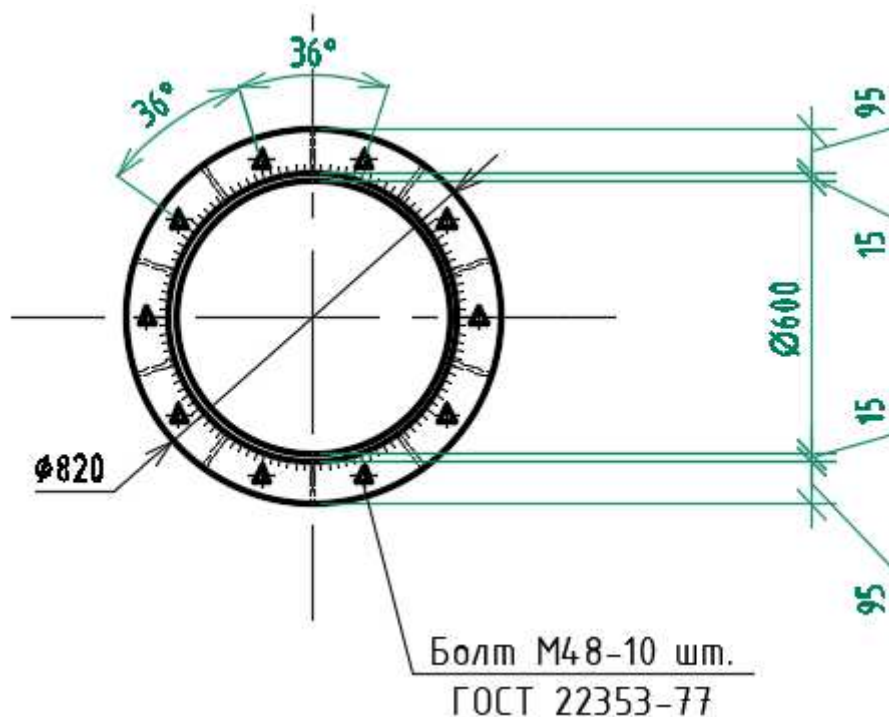


Рисунок 114- Узел 3

#### Узел 4

##### Расчет узла крепления прогонов к нижнему поясу ригеля рамы.

Данное соединение будет выполняться с помощью болтов через фасонку к фасонке.

Определим количество болтов для соединения.

Количество болтов в соединении из условия на срез определяется по формуле

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}, \quad (43)$$

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.

$R_{bs}$  – берем для болтов класса прочности 10,9 = 415 Н/мм<sup>2</sup>

Болты диаметром 20 мм

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1029,04 \cdot 10}{1 \cdot 13,8 \cdot 415 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,99 \text{ шт.}$$

Количество болтов в соединении из условия на смятие определяется по формуле

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}, \quad (44)$$

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.

Определяем количество болтов

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1029,04 \cdot 10^3}{42 \cdot 10 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 3,78 \text{ шт.}$$

Принимаем 4 болта М42 класса точности А и класса прочности 10.9. Согласно ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатанной» [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_\phi = 18$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_\phi = 280$  мм и длину  $l = 280$  мм исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40].

Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле

$$A_{\text{осл}} = t_{\text{ф}} \cdot (h_{\text{ф}} - 2 \cdot d_{\text{отв}}), \quad (45)$$

где  $d_{\text{отв}}$  – диаметр отверстия под болты.

Определим площадь сечения фасонки ослабленной болтами

$$A_{\text{осл}} = 1,8 \cdot (27 - 2 \cdot 4,2) = 33,48 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1029,04 \cdot 10}{33,48 \cdot 300 \cdot 1,1} = 0,9 < 1.$$

#### Расчет сварного соединения фасонки и трубы ригеля

Для фасонки, которая приваривается к нижнему поясу ригеля рамы по [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_{\text{ф}} = 18$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_{\text{ф}} = 400$  мм и длину  $l = 1030$  мм исходя из обеспечения условия симметрии, так же из условия крепления уже имеющейся фасонки, прохождения фасонки насквозь сечения трубы и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40]. Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле (45)

$$A_{\text{осл}} = t_{\text{ф}} \cdot (h_{\text{ф}} - 2 \cdot d_{\text{отв}}) = 1,8 \cdot (40 - 2 \cdot 4,2) = 56,88 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1029,04 \cdot 10}{35,28 \cdot 330 \cdot 1,1} = 0,5 < 1.$$

Прочность швов, прикрепляющих фасонку к стенкам трубы, рассчитываем на совместное действие продольного усилия  $N = 1029,04$  кН и поперечного усилия  $Q = 3,63$  кН.

Принимаем - катет шва  $k_f = 12$  мм, - материал фасонки С345, толщина  $t = 18$  мм.

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240 \text{ МПа}$

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

Так как  $\beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz}$ , т. е.  $0,9 \cdot 240 = 216 \text{ МПа} < 1,05 \cdot 207 = 217,35$ ; расчёт ведём по металлу шва.

$$\text{Длину шва принимаем } l_w = \frac{N}{t \cdot R_y \cdot 0,85 \cdot \gamma_c} \cdot 4 = \frac{1029,04}{0,018 \cdot 300000 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot 4 = 1,68 \text{ м.}$$

Напряжение в швах от продольного усилия N по формуле

$$\tau_n = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{1029,04}{0,9 \cdot 0,012 \cdot 1,68} = 56,71 \text{ МПа.}$$

Напряжение в швах от усилия Q – по формуле

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{3,63}{0,9 \cdot 0,012 \cdot 1,68} = 0,2 \text{ МПа.}$$

Напряжение от суммарного действия N и Q определяем по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{56,71^2 + 0,2^2} = 56,71 < R_{wf} \cdot \gamma_c = 216 \text{ МПа.}$$

## Узел 5

### Соединение верхнего пояса фермы и ригеля рамы

Соединение выполняется с помощью болтов через фасонку к фасонке.

### Расчет сварного соединения фасонки к трубе ригеля рамы

Прочность швов, прикрепляющих фасонку к стенкам трубы, рассчитываем на совместное действие продольного усилия  $N = 1924,28 \text{ кН}$  и поперечного усилия  $Q = 63,76 \text{ кН}$ .

Принимаем - катет шва  $k_f = 12 \text{ мм}$ , - материал фасонки С345, толщина  $t = 20 \text{ мм}$ .

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240 \text{ МПа}$

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

Так как  $\beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz}$ , т. е.  $0,9 \cdot 240 = 216 \text{ МПа} < 1,05 \cdot 207 = 217,35$ ; расчёт ведём по металлу шва.

Длину шва принимаем

$$l_w = \frac{N}{t \cdot R_y \cdot 0,85 \cdot \gamma_c} \cdot 4 = \frac{1924,28}{0,02 \cdot 300000 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot 4 = 1,68 \text{ м.}$$

Напряжение в швах от продольного усилия N по формуле

$$\tau_n = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{1924,28}{0,9 \cdot 0,012 \cdot 1,68} = 106,1 \text{ МПа.}$$

Напряжение в швах от усилия Q – по формуле

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{63,76}{0,9 \cdot 0,012 \cdot 1,68} = 3,5 \text{ МПа.}$$

Напряжение от суммарного действия N и Q определяем по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{106,1^2 + 3,5^2} = 106,16 < R_{wf} \cdot \gamma_c = 216 \text{ МПа.}$$

#### Расчет болтового соединения фасонки

Определим количество болтов для соединения.

Количество болтов в соединении из условия на срез определяется по формуле (43). Болты диаметром 42 мм

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1924,28 \cdot 10}{1 \cdot 13,8 \cdot 415 \cdot 1 \cdot 0,9} = 3,73 \text{ шт.}$$

Количество болтов в соединении из условия на смятие определяется по формуле (44)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \Sigma t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{1924,28 \cdot 10^3}{42 \cdot 20 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 3,53 \text{ шт.}$$

Принимаем 4 болта М42 класса точности А и класса прочности 10.9. Согласно ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный» [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_\phi = 20$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_\phi = 530$  мм и длину  $l = 1130$  мм исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40]. Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле (45)

$$A_{осл} = 2 \cdot (53 - 2 \cdot 4,2) = 89,2 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1924,28 \cdot 10}{89,2 \cdot 300 \cdot 1,1} = 0,65 < 1,$$

Параметры фасонки, которая приваривается к трубе фермы.

Согласно ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный» [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_\phi = 20$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_\phi = 313$  мм и длину  $l = 593$  мм исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40]. Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле (45)

$$A_{осл} = 2 \cdot (31,3 - 2 \cdot 4,2) = 45,8 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{622,74 \cdot 10}{45,8 \cdot 300 \cdot 1,1} = 0,42 < 1,$$

#### Расчет сварного соединения фасонки и трубы фермы

Прочность швов, прикрепляющих фасонку к стенкам трубы, рассчитываем на совместное действие продольного усилия  $N = 622,74$  кН и поперечного усилия  $Q = 12,66$  кН.

Принимаем - катет шва  $k_f = 5$  мм, - материал фасонки С345, толщина  $t = 20$  мм.

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

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

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240$  МПа

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

Так как  $\beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz}$ , т. е.  $0,9 \cdot 240 = 216$  МПа  $< 1,05 \cdot 207 = 217,35$ ; расчёт ведём по металлу шва.

Длину шва принимаем

$$l_w = \frac{N}{t \cdot R_y \cdot 0,85 \cdot \gamma_c} \cdot 4 = \frac{622,74}{0,02 \cdot 300000 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot 4 \cdot 2 = 1,085 \text{ м.}$$

Напряжение в швах от продольного усилия  $N$  по формуле

$$\tau_n = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{622,74}{0,9 \cdot 0,005 \cdot 1,085} = 127,54 \text{ МПа.}$$

Напряжение в швах от усилия Q – по формуле

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{12,66}{0,9 \cdot 0,005 \cdot 1,085} = 2,59 \text{ МПа.}$$

Напряжение от суммарного действия N и Q определяем по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{127,54^2 + 2,59^2} = 127,6 < R_{wf} \cdot \gamma_c = 216 \text{ МПа.}$$

## Узел 6

### Соединение нижнего пояса и раскоса фермы с ригелем рамы

Соединение выполняется с помощью болтов через фасонку к фасонке.

### Расчет сварного соединения фасонки к трубам маленькой фермы

Прочность швов, прикрепляющих фасонку к стенкам труб, рассчитываем на совместное действие равнодействующего продольного усилия  $R_N = 386,6$  кН и поперечного равнодействующего усилия  $R_Q = 2,66$  кН.

Принимаем - катет шва  $k_f = 3$  мм, - материал фасонки С345, толщина  $t = 20$  мм.

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240$  МПа

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

Так как  $\beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz}$ , т. е.  $0,9 \cdot 240 = 216 \text{ МПа} < 1,05 \cdot 207 = 217,35$ ; расчёт ведём по металлу шва.

Длину шва принимаем

$$l_w = \frac{N}{t \cdot R_y \cdot 0,85 \cdot \gamma_c} \cdot 4 = \frac{386,6}{0,003 \cdot 300000 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot 4 = 2,25 \text{ м.}$$

Напряжение в швах от продольного усилия N по формуле

$$\tau_n = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{386,6}{0,9 \cdot 0,003 \cdot 2,25} = 63,6 \text{ МПа.}$$

Напряжение в швах от усилия Q – по формуле

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{2,66}{0,9 \cdot 0,003 \cdot 2,25} = 0,44 \text{ МПа.}$$

Напряжение от суммарного действия N и Q определяем по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{63.6^2 + 0.44^2} = 63.6 < R_{wf} \cdot \gamma_c = 216 \text{ МПа.}$$

Определим количество болтов для соединения.

Количество болтов в соединении из условия на срез определяется по формуле (43). Болты диаметром 42 мм

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{2345,39 \cdot 10}{1 \cdot 13,8 \cdot 415 \cdot 1 \cdot 0,9} = 4,56 \text{ шт.}$$

Количество болтов в соединении из условия на смятие определяется по формуле (44)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{2345,39 \cdot 10^3}{42 \cdot 20 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 4,31 \text{ шт.}$$

Принимаем 6 болтов М42 класса точности А и класса прочности 10.9. Согласно ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный» [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_\phi = 20$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_\phi = 720$  мм и длину  $l = 1580$  мм исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40]. Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле (45)

$$A_{осл} = 2 \cdot (72 - 2 \cdot 4,2) = 127,2 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{2345,39 \cdot 10}{127,2 \cdot 300 \cdot 1,1} = 0,56 < 1.$$

Параметры фасонки, которая приваривается к трубе фермы.

Согласно ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатаный» [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_\phi = 20$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_\phi = 460$  мм и длину  $l = 1320$  мм исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40].



Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле (45)

$$A_{\text{осл}} = 2 \cdot (46 - 2 \cdot 4,2) = 75,2 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{386,6 \cdot 10}{75,2 \cdot 300 \cdot 1,1} = 0,2 < 1,$$

#### Расчет сварного соединения фасонки и трубы ригеля

Прочность швов, прикрепляющих фасонку к стенкам трубы, рассчитываем на совместное действие продольного усилия  $N = 2345,39$  кН и поперечного усилия  $Q=92,01$  кН.

Принимаем - катет шва  $k_f=16$  мм, - материал фасонки С345, толщина  $t=20$  мм.

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240$  МПа

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

Так как  $\beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz}$ , т. е.  $0,9 \cdot 240 = 216$  МПа  $< 1,05 \cdot 207 = 217,35$ ; расчёт ведём по металлу шва.

Длину шва принимаем

$$l_w = \frac{N}{t \cdot R_y \cdot 0,85 \cdot \gamma_c} \cdot 4 = \frac{2345,39}{0,02 \cdot 300000 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot 4 = 2,04 \text{ м.}$$

Напряжение в швах от продольного усилия  $N$  по формуле

$$\tau_n = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{2345,39}{0,9 \cdot 0,016 \cdot 2,04} = 79,84 \text{ МПа.}$$

Напряжение в швах от усилия  $Q$  – по формуле

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{92,01}{0,9 \cdot 0,016 \cdot 2,04} = 3,13 \text{ МПа.}$$

Напряжение от суммарного действия N и Q определяем по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{79.84^2 + 3.13^2} = 79.9 < R_{wf} \cdot \gamma_c = 216 \text{ МПа.}$$

Расчет болтов для крепления связи

Количество болтов в соединении из условия на срез определяется по формуле (43). Болты диаметром 20 мм

$$n = \frac{N}{n_s \cdot A_b \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{430,56}{1 \cdot 3,14 \cdot 415 \cdot 1 \cdot 0,9} = 0,37 \text{ шт.}$$

Количество болтов в соединении из условия на смятие определяется по формуле (44)

$$n = \frac{N}{d_b \cdot \sum t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{430,56 \cdot 10^3}{20 \cdot 18 \cdot 720 \cdot 1 \cdot 0,9} = 1,8 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 болта М20 класса точности А и класса прочности 10.9.

Согласно ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовой горячекатанной» [16] принимаем толщину фасонки из условия смятия болтами  $t_\phi = 18$  мм. Высоту фасонки принимаем  $h_\phi = 259$  мм и длину  $l = 400$  мм исходя из обеспечения условия симметрии и минимальных расстояний до края и между болтами по [4, табл. 40]. Площадь сечения фасонки ослабленной болтами определяется по формуле (45)

$$A_{осл} = 1,8 \cdot (25,9 - 2 \cdot 2) = 39,42 \text{ см}^2.$$

Проверим прочность фасонки по сечению, ослабленному болтами по формуле

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{430,56 \cdot 10}{39,42 \cdot 300 \cdot 1,1} = 0,33 < 1.$$

Расчет сварного соединения фасонки и трубы связи

Прочность швов, прикрепляющих фасонку к стенкам трубы, рассчитываем на совместное действие продольного усилия  $N = 430,56$  кН и поперечного усилия  $Q = 5,14$  кН.

Принимаем - катет шва  $k_f = 12$  мм, - материал фасонки С345, толщина  $t = 18$  мм.

Сварка – механизированная, порошковой проволокой Св-10Г2, электрод – Э60.

Коэффициенты  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

Расчетные сопротивления сварных соединений принимаем согласно [2, табл. 4]:

- по металлу шва:  $R_{wf} = 240 \text{ МПа}$
- по границы сплавления:  $R_{wz} = 207 \text{ МПа}$ .

Так как  $\beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz}$ , т. е.  $0,9 \cdot 240 = 216 \text{ МПа} < 1,05 \cdot 207 = 217,35$ ; расчёт ведём по металлу шва.

Длину шва принимаем

$$l_w = \frac{N}{t \cdot R_y \cdot 0,85 \cdot \gamma_c} \cdot 4 = \frac{430,56}{0,018 \cdot 300000 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot 4 = 0,42 \text{ м}$$

Напряжение в швах от продольного усилия N по формуле

$$\tau_n = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{430,56}{0,9 \cdot 0,018 \cdot 0,42} = 63,28 \text{ МПа.}$$

Напряжение в швах от усилия Q – по формуле

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} = \frac{5,14}{0,9 \cdot 0,016 \cdot 0,42} = 0,8 \text{ МПа.}$$

Напряжение от суммарного действия N и Q определяем по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_N^2 + \tau_Q^2} = \sqrt{63,28^2 + 0,8^2} = 63,28 < R_{wf} \cdot \gamma_c = 216 \text{ МПа.}$$

### 3.3 Выводы по главе 3

Одной из основных задач дипломной работы являлось определение оптимального варианта каркаса и разработка конструктивных решений.

Проведя анализ результатов расчета для двух вариантов каркасов, было выяснено, что особая нагрузка, от которой оба каркаса несут наибольший ущерб — это пожар. Но в большей степени страдают конструкции вертолетного ангара с несущими конструкциями внутри относительно кровельных ограждающих конструкций. Причина этого может объясняться непосредственно тем, что ригель рамы и фермы расположены внутри здания, ближе к огню.

Так же, сравнивая получившиеся данные от других особых нагрузок (внутреннее взрывное воздействие, экстремальное температурное воздействие) для двух каркасов определено, что первый вариант ангара является приоритетным.

Оптимальным выбран каркас для вертолетного ангара с несущими конструкциями снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций.

В главе были выполнены проверки сечений для элементов ригеля рамы Рр2. Условия всех проверок были выполнены.

Так же разработаны основные узловые решения. А именно: узлы соединения отправочных элементов, узел крепления прогона к ригелю рамы Рр2, узел крепления верхнего пояса фермы к Рр2, узел крепления нижнего пояса фермы к Рр2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы на этапе численных исследований каркасов были проведены расчеты двух вариантов вертолетных ангаров на основные и особые нагрузки в программном комплексе SCAD office.

Рассматривалось влияние следующих особых нагрузок: пожар, внутреннее взрывное воздействие, экстремальное температурное воздействие. Исследования проводились для каркаса с несущими конструкциями снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций и для каркаса с несущими конструкциями внутри относительно кровельных ограждающих конструкций.

Следующим шагом был анализ результатов расчета, их сопоставление. В последствии выбран оптимальный вариант каркаса вертолетного ангара.

Для выбранного каркаса разработаны конструктивные решения.

На основе исследований, проведенных в рамках ВКР, можно сделать следующие выводы:

- при расчете двух вариантов каркасов на основные виды нагрузок и при подборе сечений в ПК SCAD выяснено, что на каркас с несущими конструкциями снаружи относительно ограждающих конструкций кровли преимущественно подбираются большие сечения, нежели на второй вариант каркаса;

- в вертолетном ангаре с первым вариантом каркаса возникают перемещения, которые меньше, чем во втором ангаре на 27,8 %;

- расчет на особые виды нагрузок, а именно пожар, внутреннее взрывное воздействие, экстремальное температурное воздействие, показал, что опаснее всего для двух вариантов ангара- пожар;

- для каркаса с несущими конструкциями внутри относительно кровельных ограждающих конструкций перемещения при пожаре больше на 74,6 %, чем перемещения при той же нагрузке в первом варианте каркаса, и составляют 458,46 мм. Такое значение перемещения недопустимо (максимально допустимое перемещение для данного ангара пролетом 111 м по СП 20.13330.2016 составляют 370 мм);

- так же во втором каркасе при выходе из строя конструкций, которые подвергаются воздействию пожара, происходит последовательное обрушение большого количества элементов покрытия;

- численное исследование на внутреннее взрывное воздействие выявило, что перемещения у второго ангара больше, чем у первого на 35,3 %;

- при температурном воздействии у второго варианта перемещения меньше, чем у варианта 1 на 3,7 %

- основываясь на численных исследованиях, проведенных в ПК SCAD, очевидно, что не только с точки зрения безопасности и надежности, но и с позиции эстетической привлекательности, каркас с несущими конструкциями снаружи относительно ограждающих конструкций кровли является оптимальным;

- для выбранного каркаса ангара разработаны конструктивные и узловые решения для основных несущих конструкций.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – Введ. 04.06.2017. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 74 с.
2. СП 304.1325800.2017 Конструкции большепролетных зданий и сооружений. Правила эксплуатации.- Введ. 26.04.2018.- Москва: АО «ЦНИИПромзданий», 2018.- 64 с.
3. СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия.- Введ. 04.02.2018.- Москва: ФГБУ «РСТ», 2022.- 30 с.
4. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81. – Введ. 28.08.2017. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 145 с.
5. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. – Введ. 01.07.2015. – М:Стандартинформ, 2015. – 19 с
6. О противопожарном режиме [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. № 390 (ред. от 23.04.2020). // Справочная система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_129263/c64b62da9843a678eebf080a980dcbb6747600fb/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/c64b62da9843a678eebf080a980dcbb6747600fb/)
7. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.- Введ. 01.05.2009.- Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.- 31 с.
8. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123 – ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – М. : Государственная Дума, 22.07.2008. – 60 с.
9. СП 1.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.- Введ. 19.09.2020.- Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2020.- 65 с.
10. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – Введ. 25.06.2021. – Москва : НИИСФ РААСН, ФГБУ «ГГО», 2021. – 153 с.
11. ГОСТ 26020-83 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент – Введ. 01.01.1986. – Москва, 1986.- 11 с.
12. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.- Введ. 01.01.1993.- Москва, 1993.- 15 с.
13. 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.

14. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Введ. 01.07.2013. – Москва: Минрегион России, 2012. – 84 с.
15. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата помещения.- Введ. 01.01.2013.- Москва: ОАО "СантехНИИпроект", ОАО "ЦНИИПромзданий", 2013.- 11 с.
16. ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.- Введ. 01.09.2016.- Москва, 2016.- 11 с.
17. ГОСТ 23118-2019. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия – Введ.01.01.2021. – Москва: Стандартинформ, 2021. – 39с.
18. СП 53-101-98 Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций. Свод правил по проектированию и строительству – Введ. 01.01.1999. – Москва: Госстрой России, 1999. – 36с.
19. Еремеев П.Г. Справочник по проектированию современных металлических конструкций большепролётных покрытий. Справочное издание. – Москва: Издательство АСВ, 2011. – 256с.
20. Горев В.В. Металлические конструкции. Элементы конструкций.- Москва. Высшая школа, 2004.- 551 с.
21. Горев В.В. Металлические конструкции. Конструкции зданий.- Москва. Высшая школа, 2004.- 528 с.
22. Горев В.В. Металлические конструкции. Специальные конструкции и сооружения.- Москва. Высшая школа, 2002.- 544 с.
23. Попов Н.Н. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки.- Москва. Высшая школа, 1992.- 319 с.
24. Зверев Д.Н. Большепролетные конструкции покрытий общественных и промышленных зданий.- Санкт-Петербург. СПбГАСУ 1998.- 60 с.
25. 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.
26. Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений , подверженных воздействию взрывных нагрузок.- Введ. 20.07.2000.- Москва: АО «ЦНИИПромзданий», 2000.- 87 с.
27. Попов Н.Н. Расторгуев Б.С. Вопросы расчета и конструирования специальных сооружений.- Москва. Стройиздат, 1980.- 190 с.
28. СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования. – Введ. 1.12.2017. – Москва: Минстрой России, 2017 – 166 с.
29. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций.- Москва: Стройиздат, 1991.- 431 с.
30. Гордеев В.Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения.- Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007- 482 с.



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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные конструкции и управляемые системы  
кафедра

  
подпись «16»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
С.В. Деордиев  
инициалы, фамилия  
«16» июль 2022 г.

## ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

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

Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара  
относительно кровельных ограждающих конструкций  
тема

Руководитель	 подпись, дата	доцент, к.т.н. должность, ученая степень	<u>А.В. Фроловская</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>А.А. Левданская</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Продолжение титульного листа дипломной работы по теме  
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара  
относительно кровельных ограждающих конструкций

Консультанты по разделам:

Вариантное проектирование  
наименование раздела

Фролова, 04.22  
подпись, дата

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Численно-исследовательская часть  
наименование раздела

Фролова, 08.22  
подпись, дата

А.В. Фроловская  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Фролова, 09.06.22  
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  
«25» 12 2021 г.

### ПЛАН РАБОТЫ

Студентке Левданской Алине Андреевне. Группа СС16-11. Направление (профиль) 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Тема выпускной квалификационной работы: Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций.

Утверждена приказом по университету № 16 32/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. Анализ нормативно технической документации. Обзор существующих конструктивных решений. Алгоритм сбора и расчета особых нагрузок.	25.12.2021
Постановка задачи исследования	17.01.2022
Численные исследования каркаса с несущими элементами снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций. Расчет на основные нагрузки в ПК SCAD.	01.02.2022
Расчет на особые виды нагрузок в ПК SCAD первого варианта ангара	21.02.2022
Численные исследования каркаса с несущими элементами внутри относительно кровельных ограждающих конструкций. Расчет на основные нагрузки в ПК SCAD.	14.03.2022
Расчет на особые виды нагрузок в ПК SCAD второго варианта ангара	04.04.2022
Анализ результатов расчета и их сопоставление. Выбор оптимального варианта каркаса	25.04.2022

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

А.А. Левданская  
инициалы, фамилия

« 25 » декабря 2021 г.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	8
Глава 1. Общие сведения о конструктивных решениях для авиационных ангаров и определении особых нагрузок.....	10
1.1 Анализ нормативно-технической документации.....	10
1.2 Обзор существующих конструктивных решений для авиационных ангаров.....	11
1.3 Алгоритм сбора и расчета особых нагрузок.....	16
1.3.1 Пожар .....	16
1.3.2 Внутреннее взрывное воздействие .....	18
1.3.3 Экстремальное температурное воздействие.....	19
1.4 Постановка задачи исследования .....	20
1.5 Выводы по главе 1 .....	21
Глава 2. Численные исследования каркасов с несущими элементами снаружи и внутри относительно кровельных ограждающих конструкций .....	22
2.1 Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций.....	22
2.1.1 Описание конструктивного решения. Компоновка каркаса .....	22
2.1.2 Расчетная схема в ПК SCAD .....	23
2.1.3 Сбор нагрузок .....	24
2.1.4 Задание комбинаций нагрузок и РСУ .....	42
2.1.5 Приложение основных нагрузок .....	44
2.1.6 Подбор сечений .....	47
2.1.7 Расчет каркаса здания на особые нагрузки .....	50
2.2 Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций.....	69
2.2.1 Описание конструктивного решения. Компоновка каркаса .....	69
2.2.2 Расчетная схема в ПК SCAD .....	70
2.2.3 Сбор нагрузок .....	71

ДР—08.05.01 ПЗ								
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	Пояснительная записка	Страница	Лист	Листов
		Левданская	<i>Л.В.В.</i>	09.02.22		У	6	136
		Фроловская	<i>В.В.Ф.</i>	09.02.22		СКиУС		
		Фроловская	<i>В.В.Ф.</i>	09.02.22				
		Зав. каф. Деордиев	<i>В.В.Д.</i>	09.02.22				

Отзыв руководителя

на выпускную квалификационную работу

Тема Оптимальное распределение ресурсов  
20-й этаж каркасно-вертикального здания  
проведены организационно-технические мероприятия

Автор (ФИО) Мельниковая Анна Андреевна

Институт Инженерно-строительный

Выпускающая кафедра СКиУС

Специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель К.Т.Н., доцент, каф. СКиУС, Фролова А.В.  
(степень, звание, должность, место работы, Ф.И.О.)

Актуальность темы ВКР в виде дипломного проекта (работы) \_\_\_\_\_

обновлена

Логическая последовательность структуры работы \_\_\_\_\_

соблюдена

Аргументированность и конкретность выводов и предложений подтвер-

жены результатами работы

Уровень самостоятельности и ответственности при работе над темой ВКР \_\_\_\_\_

работы выполнена самостоятельно  
на высоком уровне

Достоинства работы работа имеет законченный вид,

выполнена на высоком техническом уровне

Недостатки работы отсутствуют

В целом работа оценена на отлично, а ее автор выпускник

Мельниковая Анна Андреевна заслуживает присвоения  
(фамилия, имя, отчество)

ему (ей) квалификации специалист по направлению «Строительство  
уникальных зданий и сооружений»

Руководитель ВКР

Фролова 15.06.2022  
(подпись, дата)

А.В. Фролова  
(инициалы, фамилия)

Отзыв руководителя

на выпускную квалификационную работу

Тема Оттава-Осенов, расположенные ресурсы  
для карты существующих зданий отведенных

Автор (ФИО) Медведева Елена Андреевна

Институт Инженерно-строительный

Выпускающая кафедра СКиУС

Специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Руководитель Л.Н. Дудин, каф. СКиУС, Ярославль  
(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 1

дано результатами работы

Уровень самостоятельности и ответственности при работе над:

работой выполненная самостоятельно

на высоком уровне

Достоинства работы работа имеет практическую

ценность на высоком техническом

Недостатки работы отсутствуют

В целом работа оценена на отлично

Медведева Елена Андреевна

(фамилия, имя, отчество)

ему (ей) квалификации специалист по направ

уникальных зданий и сооружений»

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

Дудин Л.Н. 15.06.18

(подпись, дата)

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект (работу) студента(ки) строительного факультета  
ИСИ СФУ

*Левданской Алины Андреевны .*  
(Ф.И.О. полностью)

Тема: «*Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций*»

Проанализировав материалы дипломного проекта (работы) отмечается:

1. Актуальность темы

*На основании проведенных исследований предлагаются варианты расположения несущих элементов каркаса относительно кровельных ограждающих конструкций.*

2. Качество оформления пояснительной записки

*Пояснительная записка выполнена на 134 страницах 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 134 страницах текстового документа и 14 листах графической части*

*Дипломная работа посвящена исследованию оптимальному расположению несущих элементов каркаса относительно кровельных ограждающих конструкций»*

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 ангаров,*

*- анализ влияния конструкций 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).

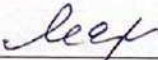
*Отсутствуют узлы решения кровли и несущих элементов покрытия при расположении несущих элементов покрытия сверху относительно кровли.*

В целом, несмотря на указанный недостаток, дипломный проект (работа) оценивается на *отлично*, а ее автор *Левданская Алина Андреевна* 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"

"Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара  
относительно кровельных ограждающих конструкций"

доцент, к.т.н.

А. В. Фроловская

Руководитель

Выпускник

А. А. Левданская

Красноярск, 2022

## Цели дипломной работы:

- исследование вариантов расположения несущих элементов металлического каркаса вертолетного ангара, в зависимости от их размещения относительно кровельных ограждающих конструкций, и определение более оптимального варианта, с позиции рассмотрения ангара не только как объекта повышенной опасности, но и с точки зрения климатических условий, в которых будет эксплуатироваться здание.

## Задачи дипломной работы:

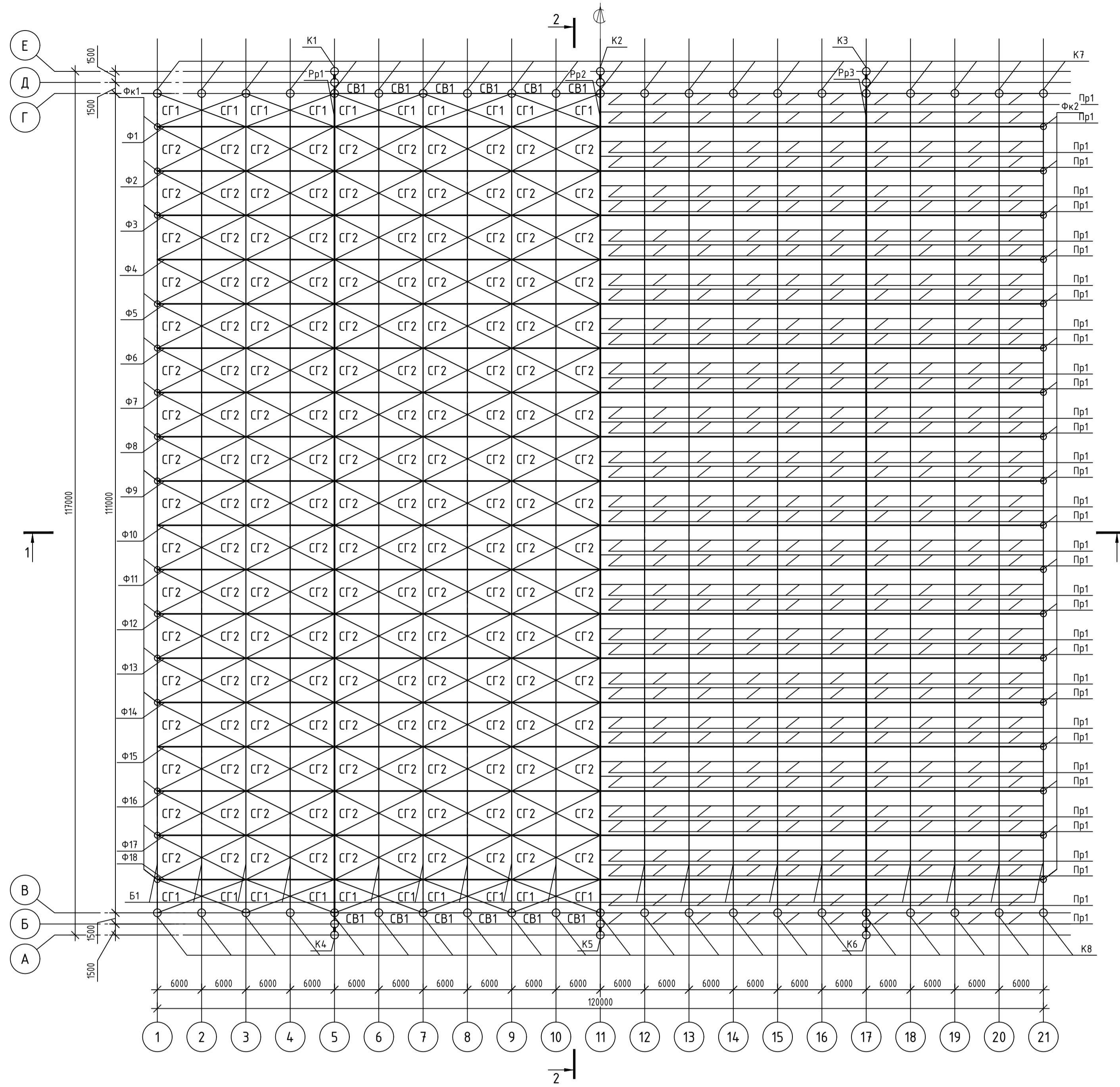
- выполнить обзор существующих конструктивных решений ангаров для авиационного транспорта;
- изучить особенности расчета и приложения особых нагрузок (внутреннее взрывное воздействие, пожар, экстремальные температурные воздействия) на каркас здания;
- выполнить численные исследования каркасов на воздействие основных нагрузок с помощью программного комплекса SCAD office;
- выполнить численные исследования каркасов на воздействие особых нагрузок с помощью программного комплекса SCAD office;
- провести анализ полученных результатов и выбрать оптимальное расположение несущих конструкций относительно ограждающих конструкций кровли;
- разработать конструктивные решения для выбранного каркаса.

## Новизна дипломной работы:

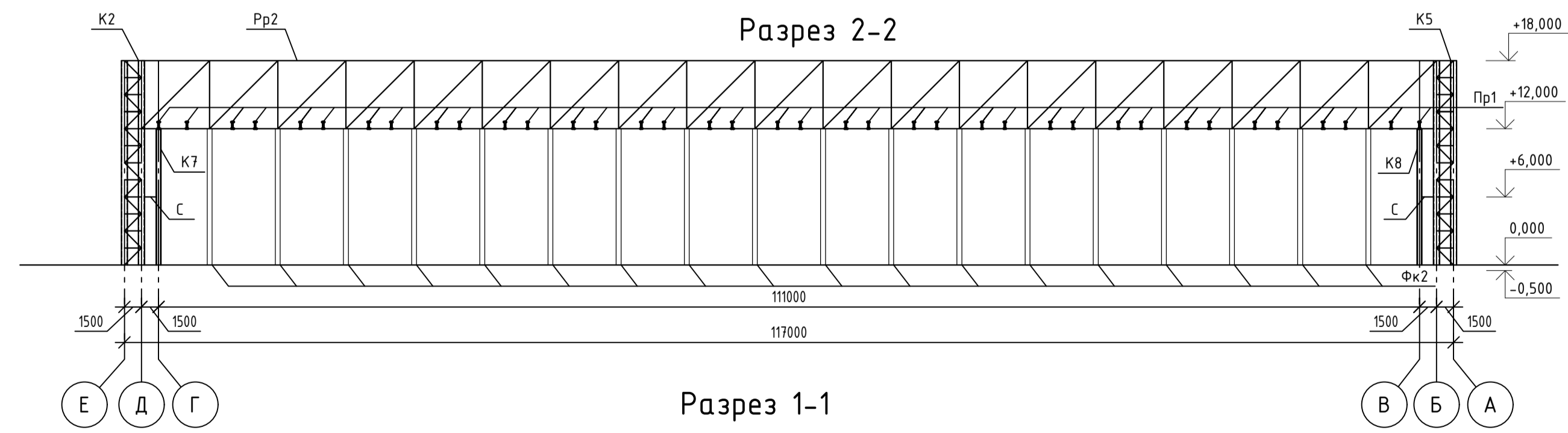
Результаты численных исследований каркаса вертолетного ангара пролетом более 110 м на особые виды воздействий, в частности, внутреннее взрывное воздействие, пожар, экстремальные температурные воздействия. Исследования по оптимальному расположению несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций.

Вариант 1

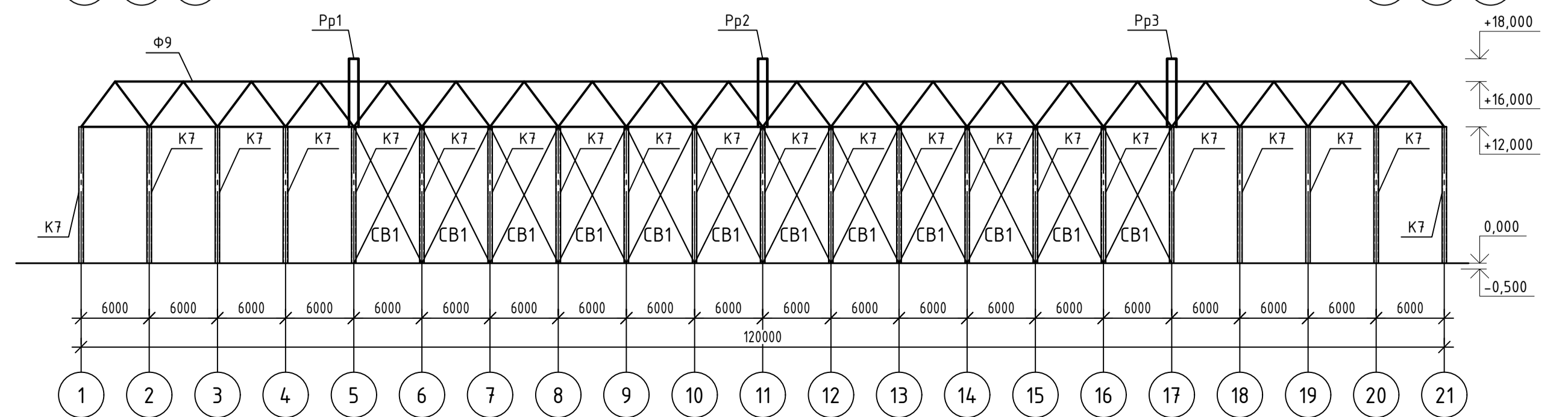
Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций  
 Схема расположения элементов



Разрез 2-2



Разрез 1-1



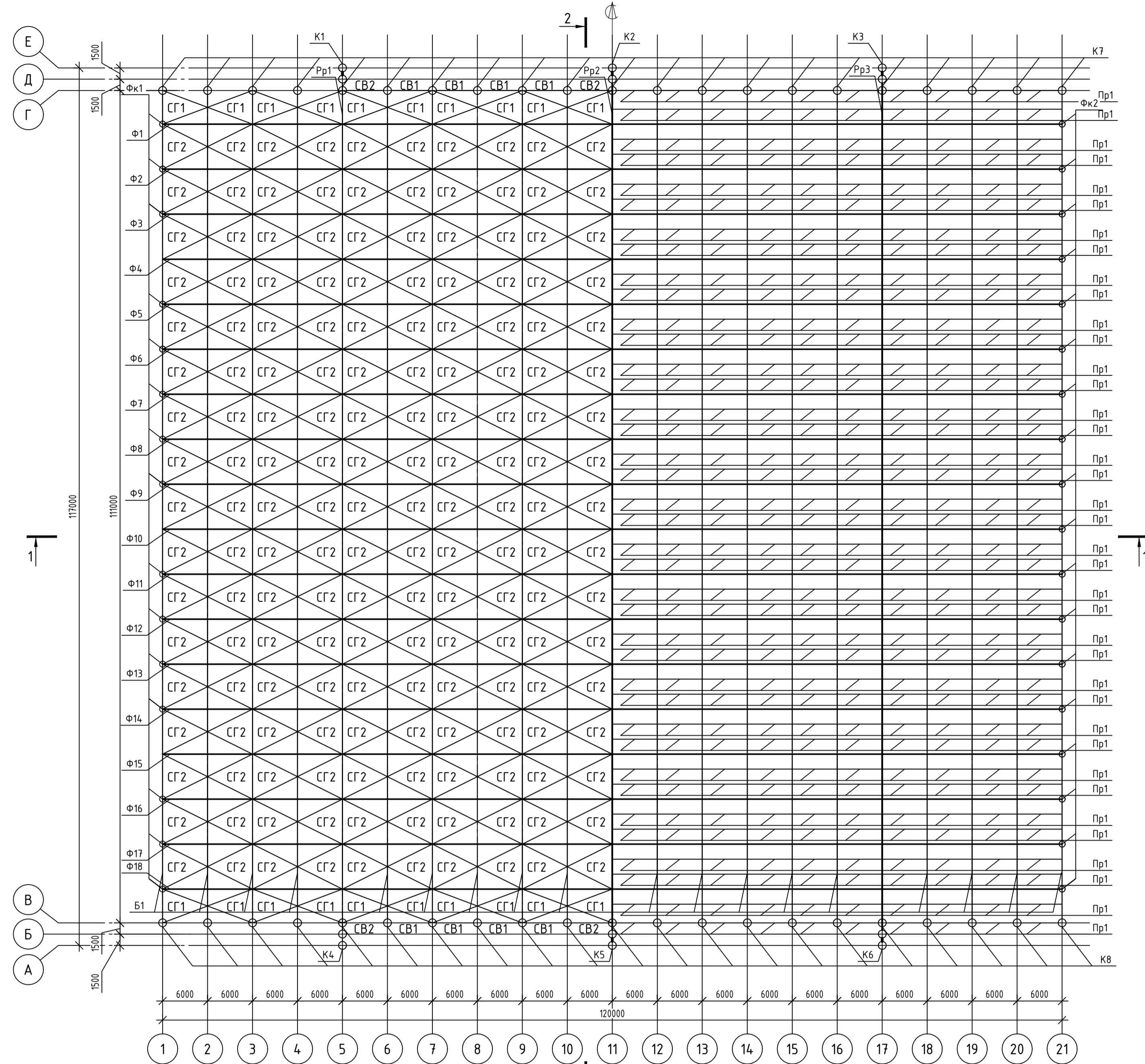
Ведомость элементов

Марка элемента	Сечение			Усилия для прикрепления			Наименование или марка материала	Примечание	Марка элемента	Сечение			Усилия для прикрепления			Наименование или марка материала	Примечание	
	эскиз	поз.	состав	Q, кН	N, кН	M, кН*м				эскиз	поз.	состав	Q, кН	N, кН	M, кН*м			
К1	О		0530x8	-37,8	1691	193,96	С345		Ф9	О		0377x4,5	1,81	-791	6,07	С345		
	О		0159x8	-15,65	4,82	-11,18	С345			О		0140x2	2,1	66,6	-2,06	С345		
	О		0244,5x6	11,2	-542,32	-14,03	С345			О		0193,7x2,5	-0,49	-79,37	-0,79	С345		
К2	О		0630x34	560,5	9665	991,62	С345		Ф10	О		0325x4	-1,07	-753,7	3,26	С345		
	О		0530x28	113	-5896	316	С345			О		0193x5,5	2,4	119,3	-2,14	С345		
	О		0377x10	-282	2258	-204,8	С345			О		0193,7x8	-1,33	-32,5	1,94	С345		
К3	О		0478x12	-294	166,3	-219	С345		Ф11	О		0325x4	-1,13	-663,25	3,22	С345		
	О		0530x8	56,6	1750	107,9	С345			О		0140x5,5	2,47	124,2	-2,23	С345		
	О		0159x8	-14,23	1,47	10,94	С345			О		0193,7x2,8	-0,58	-46,3	-0,96	С345		
К4	О		0244,5x8	-8,63	384,7	19,3	С345		Ф12	О		0273x9	-1,99	-1166,2	4,1	С345		
	О		0530x8	-0,31	-649	35,7	С345			О		0177,8x7	-2,69	247,5	-2,17	С345		
	О		0114x5,5	3,4	9,73	-2,52	С345			О		0193,7x8	-1,31	-63,04	-1,89	С345		
К5	О		0244,5x5	9,05	-399,4	-10,74	С345		Ф13	О		0273x9	1,82	-857,2	3,61	С345		
	О		0720x24	-210	-4020,8	536,2	С345			О		0140x3	2,23	94,2	-2,17	С345		
	О		0820x15	-232,7	4371,8	-608	С345			О		0193,7x2,8	-0,53	-75,39	-0,93	С345		
К6	О		0395,6x9	205,14	-0,74	-152,59	С345		Ф14	О		0244,5x9	-1,93	-819,9	2,56	С345		
	О		0426x12	-115,14	2267	-91,73	С345			О		0140x5,5	-2,43	106,49	-2,23	С345		
	О		0530x8	15,84	-695	33,7	С345			О		0193,7x8	-1,13	14,23	-1,61	С345		
К7	О		0114x5,5	-3,67	-5,4	-2,52	С345		Ф15	О		0193,7x8	-1,3	-490,6	1,22	С345		
	О		0177,8x8	5,45	-432,3	-6,3	С345			О		0127x5,5	-2,39	61,85	-2,31	С345		
	О		0530x18	-17,4	1232,8	43,7	С345			О		0159x6	-0,56	41,06	-0,73	С345		
К8	О		0530x8	-5,92	58,46	15,7	С345		Ф16	О		0193,7x8	-1,33	-410,76	-1,26	С345		
	О		01220x24	-13,45	-19106,1	1306,1	С345			О		0127x2	-2,06	22,14	-2,02	С345		
	О		0720x25	24,3	10189,4	301	С345			О		0140x5,5	-1,17	-326,78	-1,11	С345		
К9	О		0530x18	14,3	635,1	48,3	С345		Ф17	О		0193,7x8	-1,11	326,78	-1,17	С345		
	О		0630x15	19,65	-999,9	112,7	С345			О		0127x2	2,08	46,15	-2,08	С345		
	О		0530x20	14,6	-5196	64,7	С345			О		0159x8	-0,79	-93,25	-1,24	С345		
К10	О		0530x8	6,01	-542,7	-2,9	С345		Ф18	О		0244,5x9	1,93	-16,42	-4,3	С345		
	О		0193,7x6	5,06	-743,6	-3,75	С345			О		0140x5,5	2,9	203,25	-3,6	С345		
	О		0127x2	-0,59	703,2	2,3	С345			О		0244,5x8	-1,6	-673,28	-4,3	С345		
К11	О		0193,7x6	-0,73	-391,5	1,27	С345		К7	О		01420x18	693,85	-4299	4722,68	С345		
	О		0140x5,5	2,12	56,42	-2,18	С345			К8	О		01420x24	-761,72	-4337,3	-5279,3	С345	
	О		0127x2	-0,32	-198,9	0,28	С345				Фк1	О		0377x4	0,41	-477,74	-3,21	С345
К12	О		0193,7x6	-2,78	-128,3	-4,8	С345		Фк2		О		0325x4	0,09	-320,26	0,54	С345	
	О		0127x2	-2,09	-3,65	-2,15	С345		Б1	I		10064	525,46	-286,2	-1558,86	С345		
	О		0193x5,5	0,49	-76,5	-0,97	С345		Пр1	I		4051	10,53	267,9	16,7	С345		
К13	О		0219x5,5	0,49	-201,3	0,83	С345		Г1	О		0219x3,2	2,24	-430,56	-5,14	С345		
	О		0127x5,5	-2,46	35,26	-2,57	С345		Г2	О		0219x3,2	0,54	-12,55	1,25	С345		
	О		0159x2	0,14	26,56	0,17	С345		СВ1	О		0273x9	2,72	-248,6	455,74	С345		
К14	О		0244,5x8	1,84	-717,2	3,17	С345		С	О		060x3,8	1,23	172,47	-0,9	С345		
	О		0140x2	-2,1	36,26	-2,07	С345											
	О		0193,7x6	-0,52	19,3	0,78	С345											
К15	О		0273x9	2,3	-835,8	4,7	С345											
	О		0140x5,5	2,49	137,9	-2,37	С345											
	О		0193,7x2,5	-0,42	-78,5	0,6	С345											
К16	О		0273x9	2,27	-924,3	4,8	С345											
	О		0152x5	2,53	156,9	-2,38	С345											
	О		0193,7x2,5	-0,51	-101,9	0,82	С345											
К17	О		0325x4	-1,05	-748,15	3,42	С345											
	О		0140x5,5	-2,43	123,08	-2,13	С345											
	О		0193,7x8	-1,24	-30,27	1,79	С345											

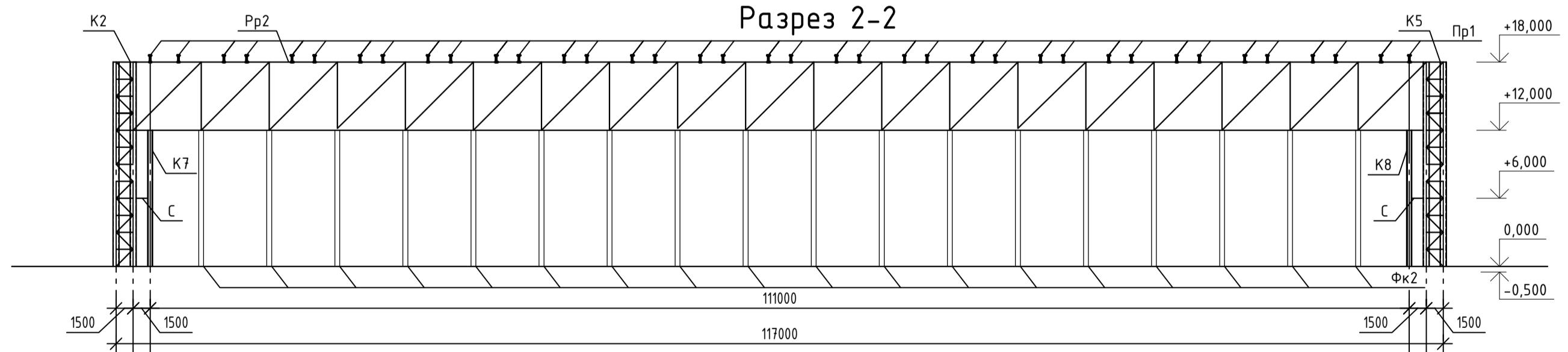
1. Место строительства - пригород г. Красноярск.
2. Материалы конструкций - сталь С345.

						ДР-08.05.01-2022 ВП					
						ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"					
						Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подр.	Дата	Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертикального ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций Вариант 1. Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций					
Разработал	Фроловская А.А.								Стая	Лист	Листов
Проверил	Фроловская А.В.								4	3	
Консультант	Фроловская А.В.										
Н. контр.	Фроловская А.В.					СКУС					
Заб. кафедрой	Дворниев С.В.					Формат А1					

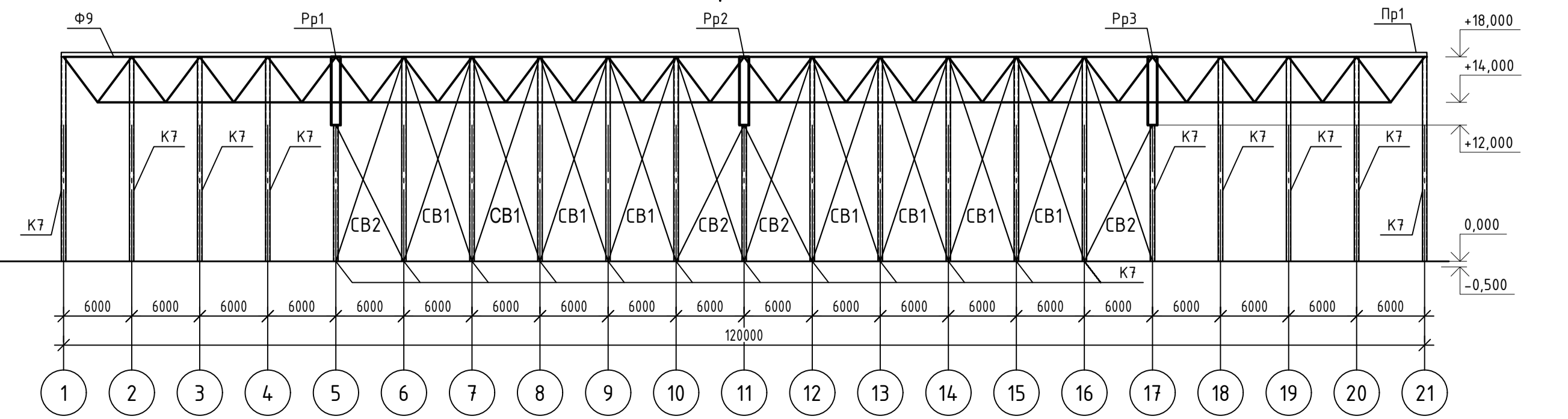
Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций  
 Схема расположения элементов



Разрез 2-2



Разрез 1-1



Ведомость элементов

Марка элемента	Сечение			Усилия для прикрепления			Наименование или марка материала	Примечание	Марка элемента	Сечение			Усилия для прикрепления			Наименование или марка материала	Примечание	
	эскиз	поз.	состав	Q, кН	N, кН	M, кН*м				эскиз	поз.	состав	Q, кН	N, кН	M, кН*м			
К1	О		0530x8	333,93	-2375,66	-429,36	С345		Ф9	О		0152x2	0,35	37,9	-0,54	С345		
	О		0177,8x8	13,41	-1036,01	11,73	С345			О		0219x9	2,12	114,8,44	2,58	С345		
	О		0273x8	-33,4	-1182,62	38,81	С345			О		0193,7x5	-0,63	-222,09	0,81	С345		
К2	О		0630x10	189,43	-3312,17	-462,51	С345		Ф10	О		0159x2	0,36	53,93	-0,55	С345		
	О		0530x20	-1660,58	-6309,12	-2257,12	С345			О		0244,5x9	2,42	1272,02	3,67	С345		
	О		0273x9	81,25	-2045,43	76,01	С345			О		0193,7x8	-0,96	-285,7	1,28	С345		
К3	О		0406,4x10	-112,29	-2519,43	147,11	С345		Ф11	О		0168x2	0,43	51,49	-0,71	С345		
	О		0530x8	-533,2	-2686,31	-727,09	С345			О		0219x9	1,78	1091,51	3,05	С345		
	О		0244,5x9	22,04	-1279,76	-26,5	С345			О		0193,7x6	-0,44	-266,83	1,01	С345		
К4	О		0530x8	608,48	-2607,82	819,64	С345		Ф12	О		0152x2	0,37	86,5	-0,66	С345		
	О		0177,8x8	-16,2	-990,84	14,59	С345			О		0273x9	2,28	1262,02	5,94	С345		
	О		0244,5x9	-27,89	-1184,41	32,12	С345			О		0193,7x8	0,77	-378,11	1,52	С345		
К5	О		0630x28	2404,13	-8246,29	3839,79	С345		Ф13	О		0140x2	0,38	35,04	-0,73	С345		
	О		0630x20	169,1	7562,8	-1087,3	С345			О		0159x7	-0,84	503,74	1,27	С345		
	О		0377x10	-203,45	-1989,61	188,95	С345			О		0193,7x2	0,54	-176,91	1,3	С345		
К6	О		0426x6	123,36	-2033,68	-145,83	С345		Ф14	О		0152x2	0,45	42,92	-0,95	С345		
	О		0530x8	561,21	-2719,69	764,65	С345			О		0177,8x4,5	-0,64	291,95	1,13	С345		
	О		0244,5x9	-45,39	-1127,54	41,61	С345			О		0193,7x2	0,64	-160,62	1,54	С345		
Pr1	О		0530x8	2,02	-1064,08	46,79	С345		Ф15	О		0133x2	0,32	25,82	-0,59	С345		
	О		0530x12	-8,68	4437,08	43,86	С345			О		0152x3,2	-0,41	137,35	0,52	С345		
	О		0530x20	6,97	-6533,75	139,67	С345			О		0168x2	0,42	-121,23	0,88	С345		
Pr2	О		0720x30	-26,51	1476,79	380,5	С345		Ф16	О		0127x2	0,24	5,1	-0,33	С345		
	О		0630x8	-44,74	-4048,15	204,18	С345			О		0176x4	-0,23	76,14	0,14	С345		
	О		0530x8	97,2	3688,04	-288,03	С345			О		0140x2	0,17	-42,27	-0,16	С345		
Pr3	О		0530x8	7,66	-1099,21	52,31	С345		Ф17	О		0127x2	-0,24	-23,97	-0,24	С345		
	О		0530x12	-8,4	4425,94	43,13	С345			О		0127x5,5	-0,28	89,11	0,26	С345		
	О		0133x2	0,38	-20,23	-0,62	С345			О		0140x5,5	-1,15	-175,79	-1,93	С345		
Ф1	О		0133x5,5	-0,54	-91,94	-0,61	С345		Ф18	О		0193,7x8	-0,77	-39,3	-1,29	С345		
	О		0177,8x6	-0,51	-409,49	1,3	С345			К7	О		01420x26	934,5	-4394,05	2031,16	С345	
	О		0127x2	0,86	137,43	1,31	С345			К8	О		01420x24	-163,71	-4901,84	-1989,25	С345	
Ф2	О		0102x5,5	0,25	-68,96	0,25	С345		Фк1	О		0426x12	1,1	-658,38	13,05	С345		
	О		0127x2	-0,4	5,88	-0,99	С345			Фк2	О		0377x9	-0,19	-409,39	1,85	С345	
	О		0176x2,5	0,22	32,72	-0,25	С345			Б1	I		10054	13,38	-3435,27	614,51	С345	
Ф3	О		0133x2	0,11	23,78	-0,1	С345		Pr1	I		6051	-32,16	-184,46	-70,43	С345		
	О		0133x2	-0,28	17,54	-0,47	С345			CG1	О		0244,5x6	-4,67	-488,09	11,82	С345	
	О		083x5,5	-0,39	44,82	-0,45	С345			CG2	О		0244,5x6	1,75	-341,02	-2,62	С345	
Ф4	О		0159x2	0,23	72,88	0,29	С345		CB1	О		0426x10	0,3	-182,51	-1,67	С345		
	О		0133x2	0,29	39,88	-0,5	С345			CB2	О		0426x10	0,89	-292,04	5,2	С345	
	О		0108x5	0,47	168,05	-0,56	С345			С	О		0720x28	2442,12	509,38	700,92	С345	
Ф5	О		0159x6	-0,47	-193,9	-0,58	С345		Ф6	О		0140x2	0,31	66,96	-0,54	С345		
	О		0244,5x8	3,19	889,99	-6,02	С345			О		0177,8x6	0,66	-261,39	0,89	С345		
	О		0152x2	0,35	53,67	-0,59	С345			О		0152x2	0,35	53,67	-0,59	С345		
Ф7	О		0168x8	1,41	660,92	-1,79	С345		Ф7	О		0168x8	1,41	660,92	-1,79	С345		
	О		0193,7x6	-0,89	-255,18	-1,32	С345			О		0193,7x6	-0,89	-255,18	-1,32	С345		
	О		0159x2	0,37	48,87	-0,6	С345			О		0159x2	0,37	48,87	-0,6	С345		
Ф8	О		0193,7x8	1,7	848,42	-1,91	С345		Ф8	О		0193,7x8	1,7	848,42	-1,91	С345		
	О		0193,7x6	-0,87	-247,37	-1,14	С345			О		0193,7x6	-0,87	-247,37	-1,14	С345		
	О		0193,7x6	-0,87	-247,37	-1,14	С345			О		0193,7x6	-0,87	-247,37	-1,14	С345		

- Место строительства - пригород Красноярск.
- Материалы конструкций - сталь С345.

Изм.						Лист № док.						Дата					
Разработал						Фроловская А.В.						Дата					
Проверил						Фроловская А.В.						Дата					
Консультант						Фроловская А.В.						Дата					
Н. контр.						Фроловская А.В.						Дата					
Заб. кафедра						Дворниев С.В.						Дата					

**ДР-08.05.01-2022 ВП**

**ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"**  
Инженерно-строительный институт

Изм.	Лист	№ док.	Дата
4	4		

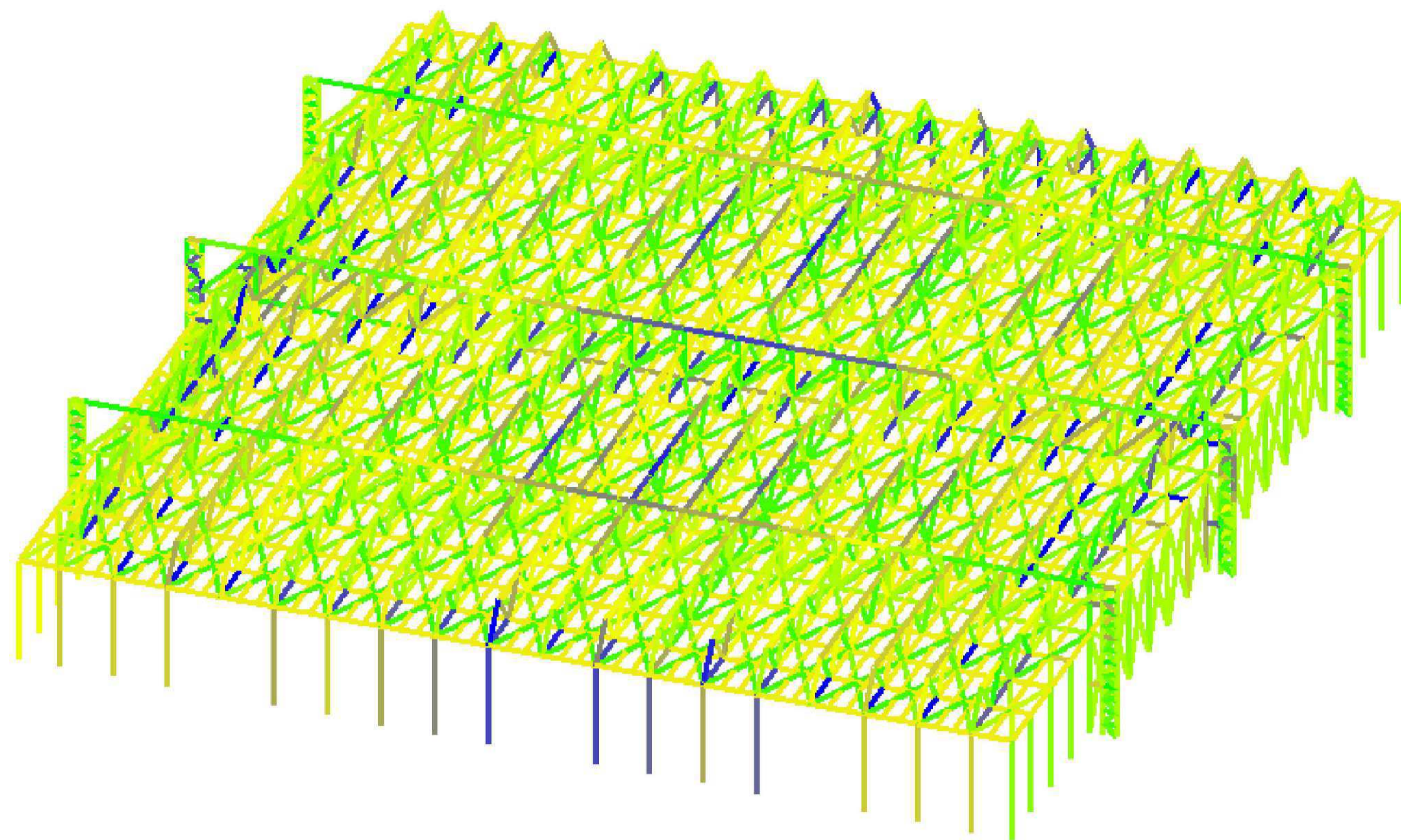
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертикального ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций

Вариант 2. Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций

СКУС

Согласовано  
 Подп. и дата  
 № и подп.

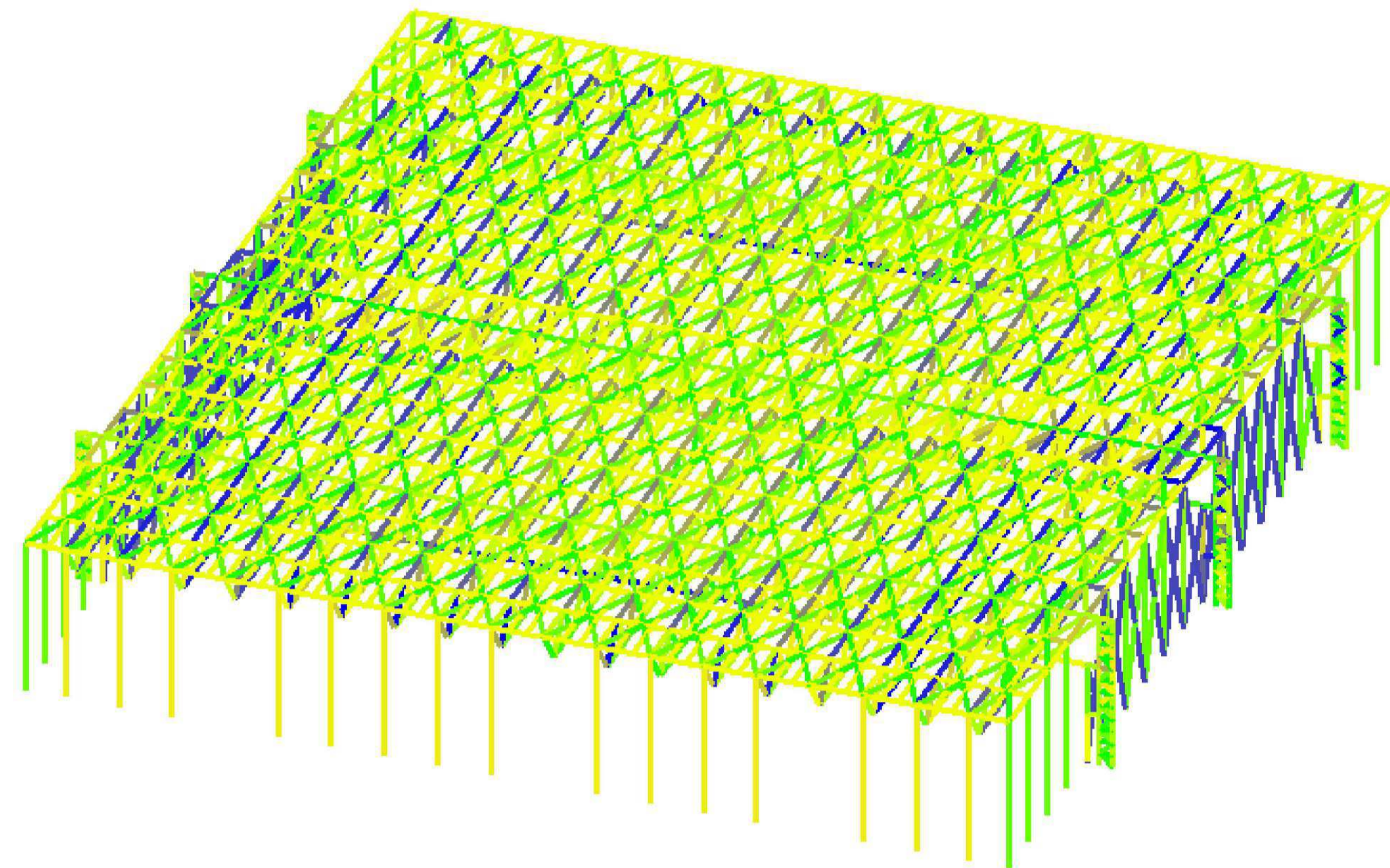
Вариант 1  
Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций  
Критический фактор  $K_{max}$



Для схемы 1

Критический фактор $K_{max}$		
0.11	0.16	35
0.16	0.21	60
0.21	0.27	1235
0.27	0.32	199
0.32	0.37	340
0.37	0.43	635
0.43	0.48	225
0.48	0.53	375
0.53	0.58	2886
0.58	0.64	210
0.64	0.69	90
0.69	0.74	36
0.74	0.8	44
0.8	0.85	41
0.85	0.9	25
0.9	0.96	44

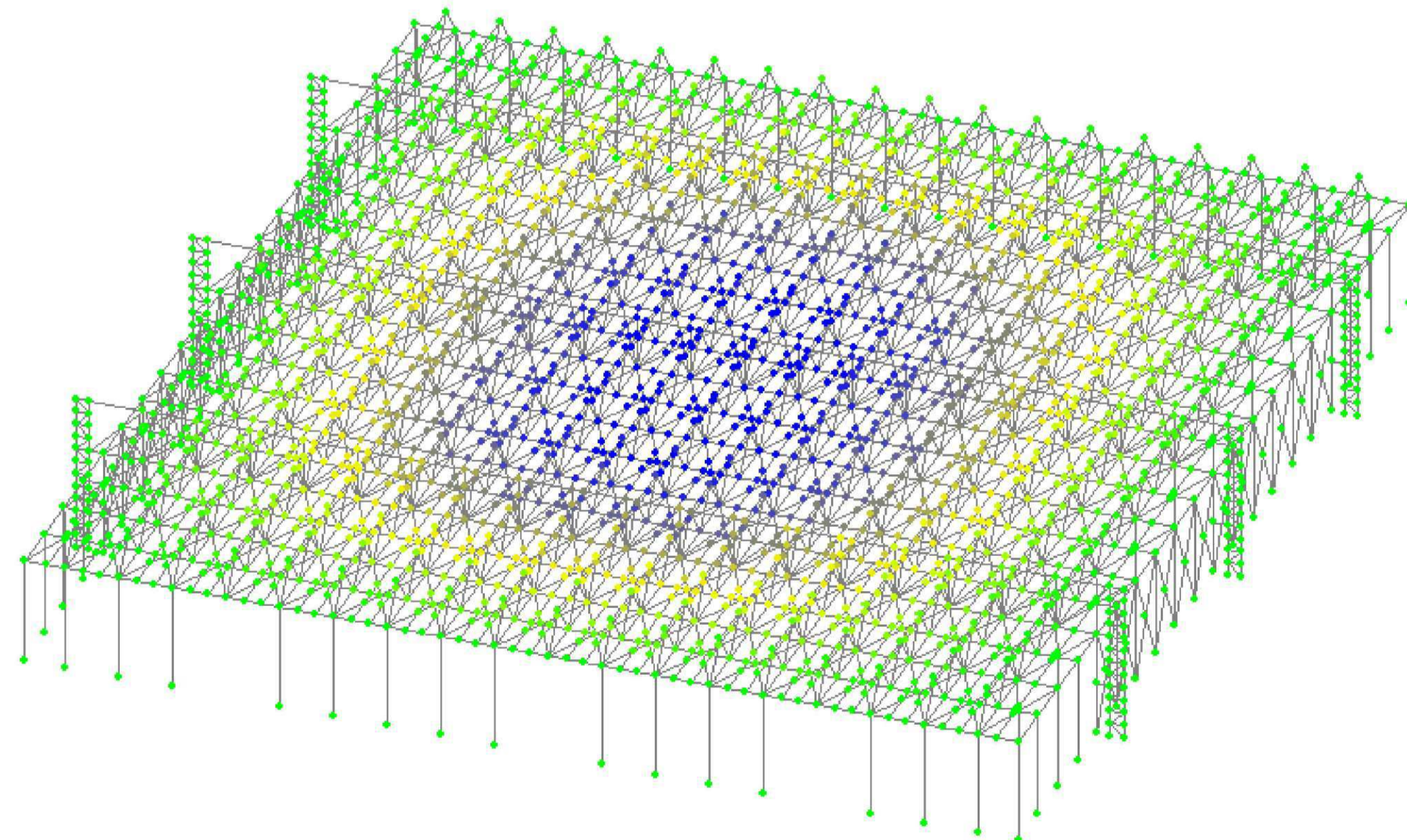
Вариант 2  
Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций  
Критический фактор  $K_{max}$



Для схемы 2

Критический фактор $K_{max}$		
0.13	0.18	75
0.18	0.24	164
0.24	0.29	964
0.29	0.34	568
0.34	0.4	138
0.4	0.45	596
0.45	0.5	153
0.5	0.56	2863
0.56	0.61	141
0.61	0.66	217
0.66	0.72	65
0.72	0.77	131
0.77	0.82	69
0.82	0.88	216
0.88	0.93	135
0.93	0.98	33

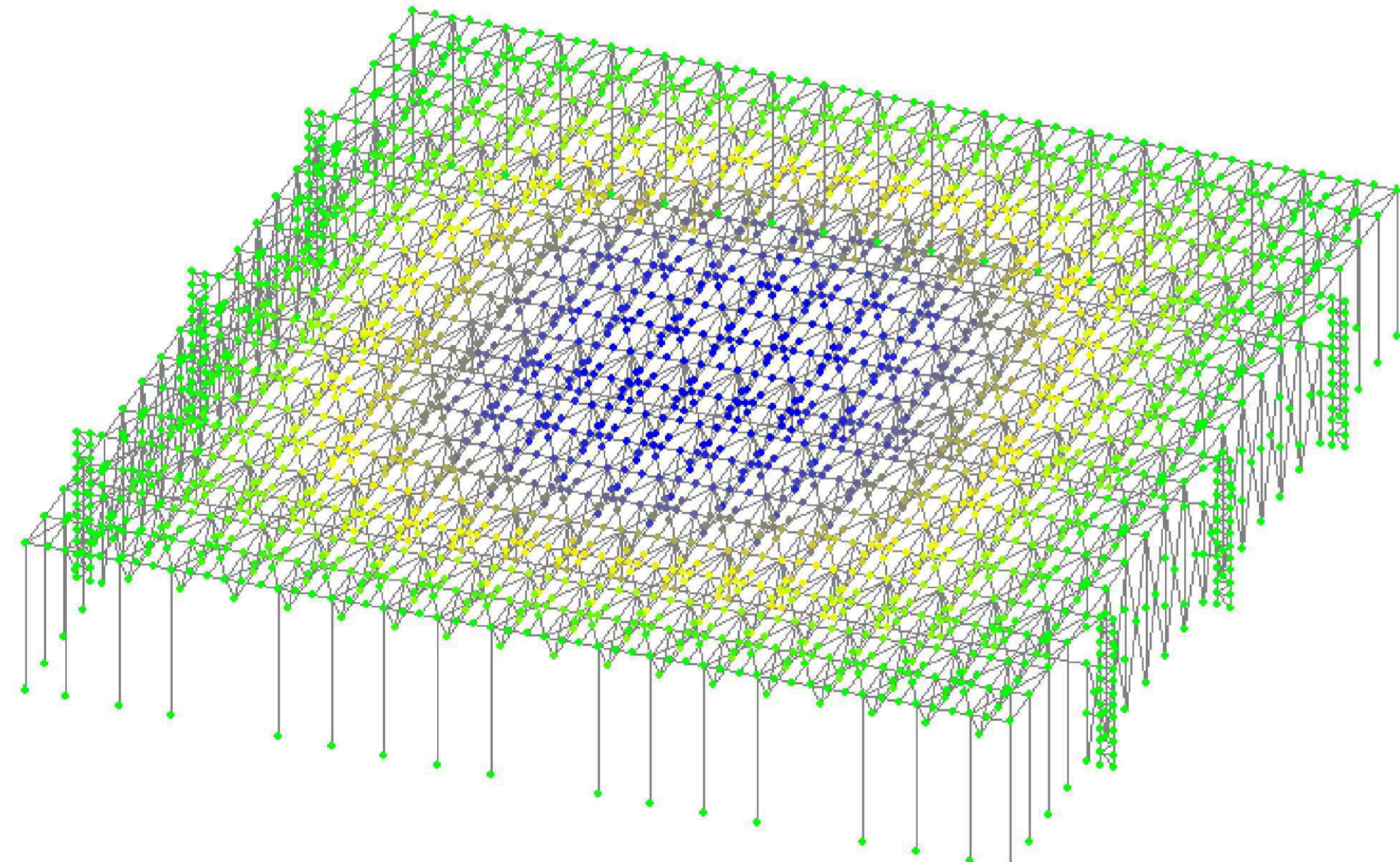
Перемещения для каркаса здания с несущими элементами снаружи относительно ограждающих конструкций



Для схемы 1

Суммарное перемещение			
	мм	мм	
0	15.11	583	
15.11	30.22	212	
30.22	45.33	210	
45.33	60.43	174	
60.43	75.54	169	
75.54	90.65	137	
90.65	105.76	138	
105.76	120.87	135	
120.87	135.98	139	
135.98	151.09	132	
151.09	166.19	140	
166.19	181.3	109	
181.3	196.41	127	
196.41	211.52	113	
211.52	226.63	125	
226.63	241.74	172	

Перемещения для каркаса здания с несущими элементами внутри относительно ограждающих конструкций



Для схемы 2

Суммарное перемещение			
	мм	мм	
0	19.29	635	
19.29	38.58	227	
38.58	57.87	222	
57.87	77.16	174	
77.16	96.45	153	
96.45	115.74	149	
115.74	135.03	131	
135.03	154.32	145	
154.32	173.61	136	
173.61	192.9	127	
192.9	212.19	127	
212.19	231.48	128	
231.48	250.77	118	
250.77	270.06	112	
270.06	289.35	128	
289.35	308.64	151	

Значения критического фактора и максимальных перемещений, в результате подбора сечений

Наименование фактора	Вариант 1	Вариант 2
Max критический фактор/Количество элементов соответствующее max критическому фактору	0,9-0,96/44	0,93-0,98/33
Максимальное значение перемещения, мм	241,74	308,64

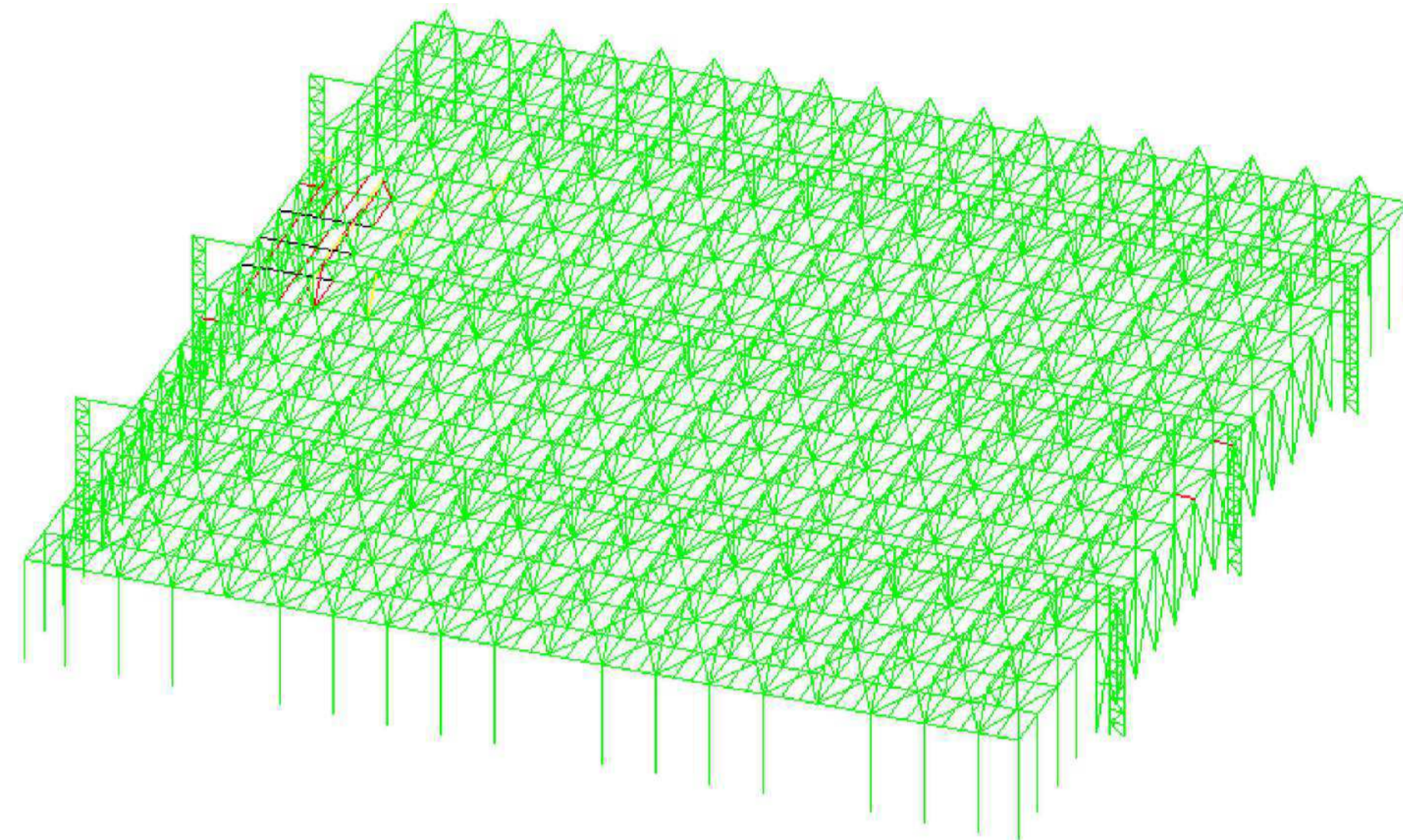
После приложения на схемы основных нагрузок, были подобраны оптимальные сечения, благодаря чему удалось снизить значение критического фактора до 0.98 и предотвратить перерасход материалов.

ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. экз.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Левинская А.А.				
Проверил	Фроловская А.В.				
Консультант	Фроловская А.В.				
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Зав. кафедрой	Дворниев С.В.				
DR-08.05.01-2022 ВП				Стадия	Лист
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолётного ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций				4	5
Вариант 1. Вариант 2. Критический фактор $K_{max}$ , перемещения после подбора сечений в ПК SCAD				СКУС	

Вариант 1

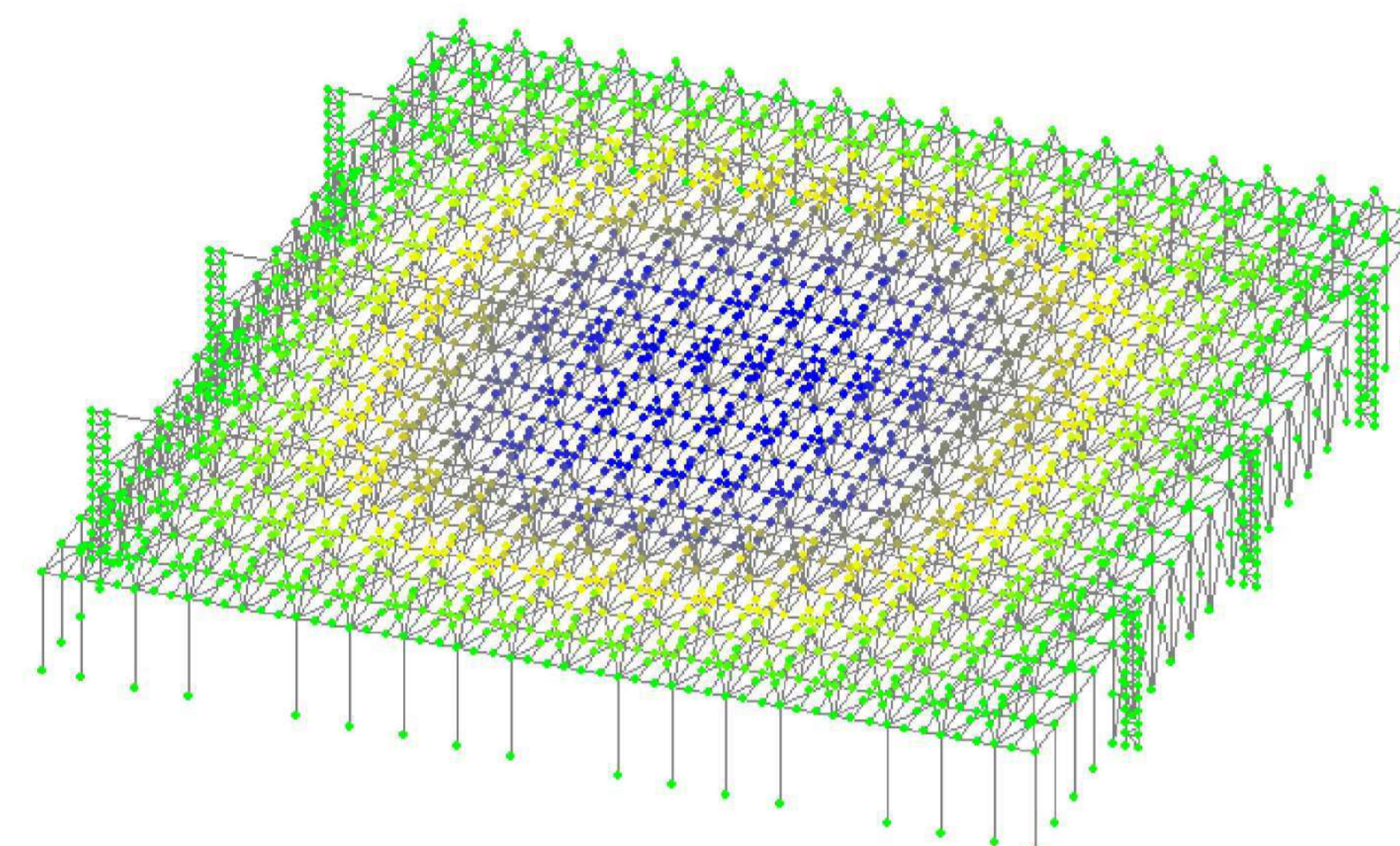
Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов балок)



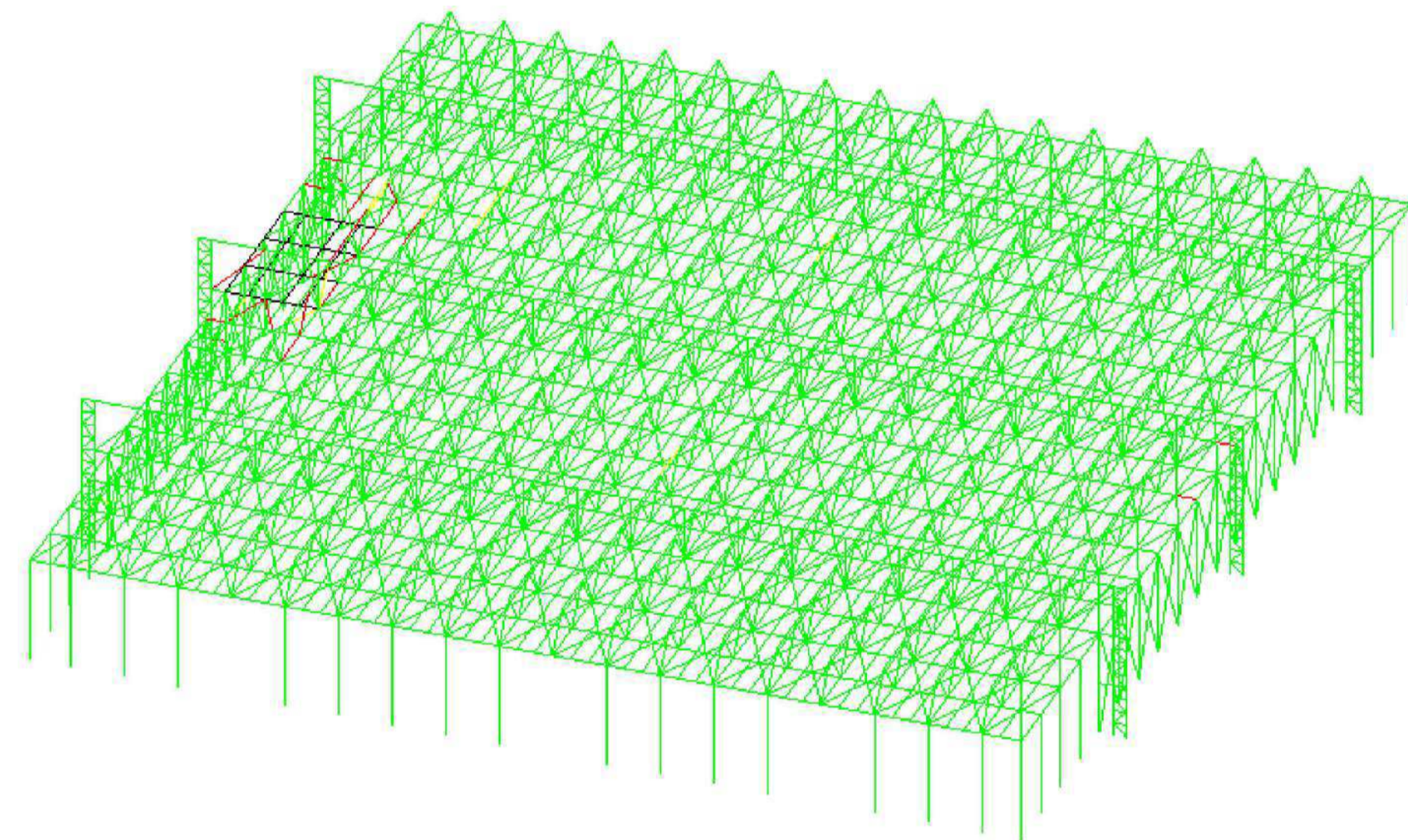
Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	6423	
0.9	1.1	11	
1.1	2.68	27	

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов балок)



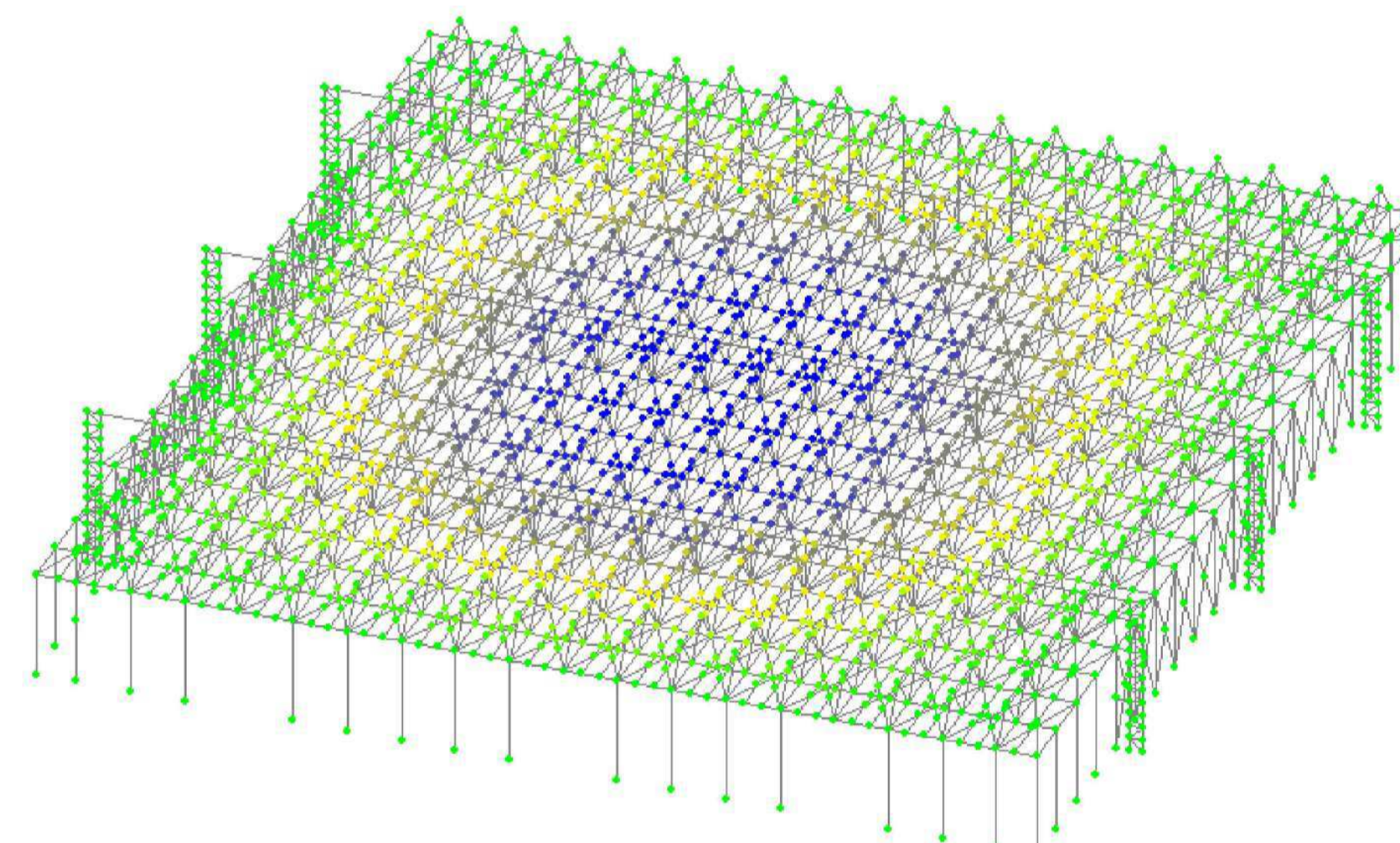
Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	15.46	574	
15.46	30.91	211	
30.91	46.37	209	
46.37	61.82	174	
61.82	77.28	171	
77.28	92.73	137	
92.73	108.19	138	
108.19	123.64	138	
123.64	139.1	149	
139.1	154.55	126	
154.55	170.01	142	
170.01	185.46	107	
185.46	200.92	128	
200.92	216.37	115	
216.37	231.83	126	
231.83	247.28	170	

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы)



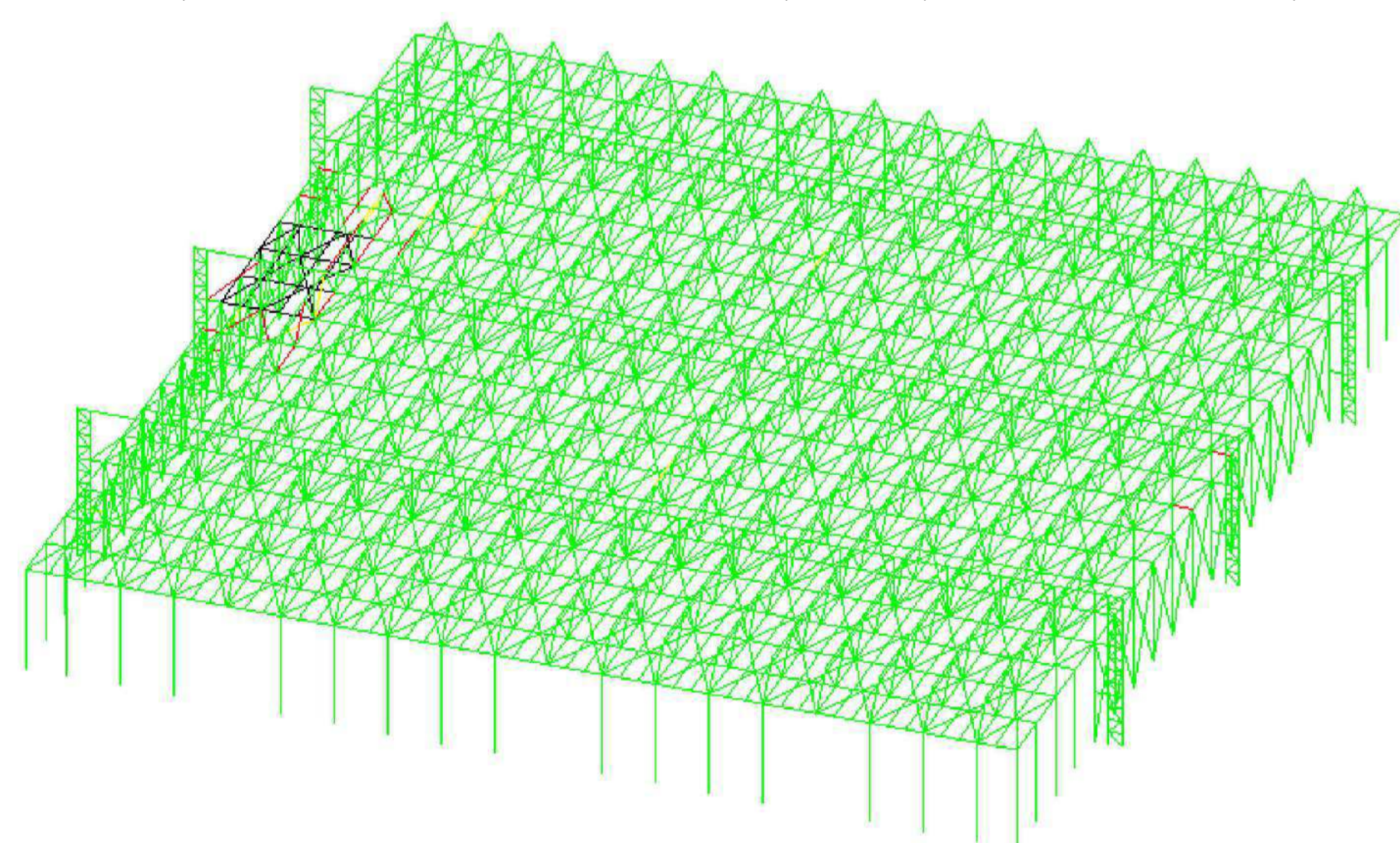
Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	6398	
0.9	1.1	13	
1.1	2.76	24	

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы)



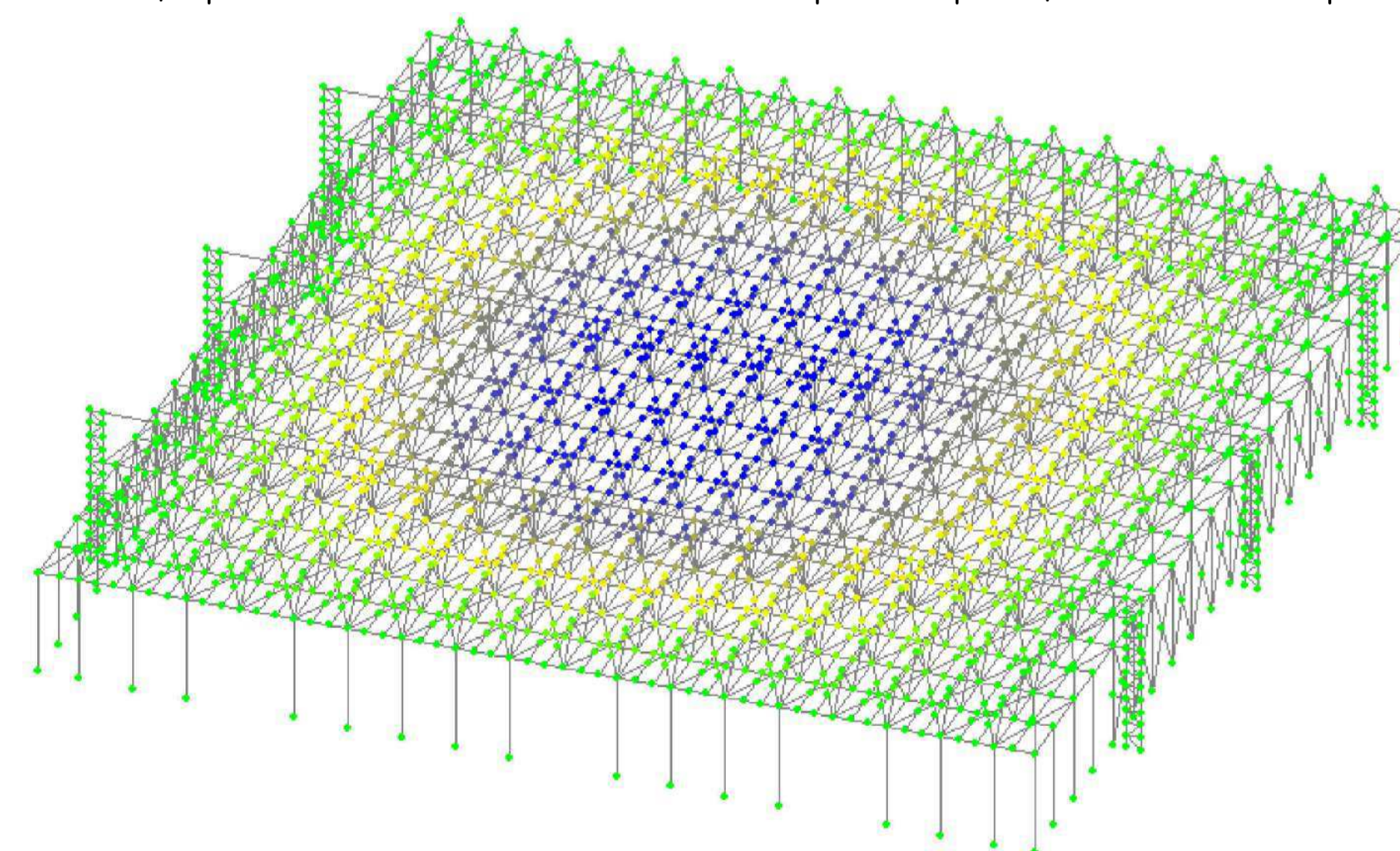
Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	16.29	581	
16.29	32.57	221	
32.57	48.86	208	
48.86	65.15	174	
65.15	81.44	156	
81.44	97.72	146	
97.72	114.01	135	
114.01	130.3	138	
130.3	146.58	146	
146.58	162.87	136	
162.87	179.16	122	
179.16	195.45	125	
195.45	211.73	123	
211.73	228.02	110	
228.02	244.31	131	
244.31	260.59	163	

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы, связей по покрытию)



Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	6379	
0.9	1.1	13	
1.1	2.76	22	

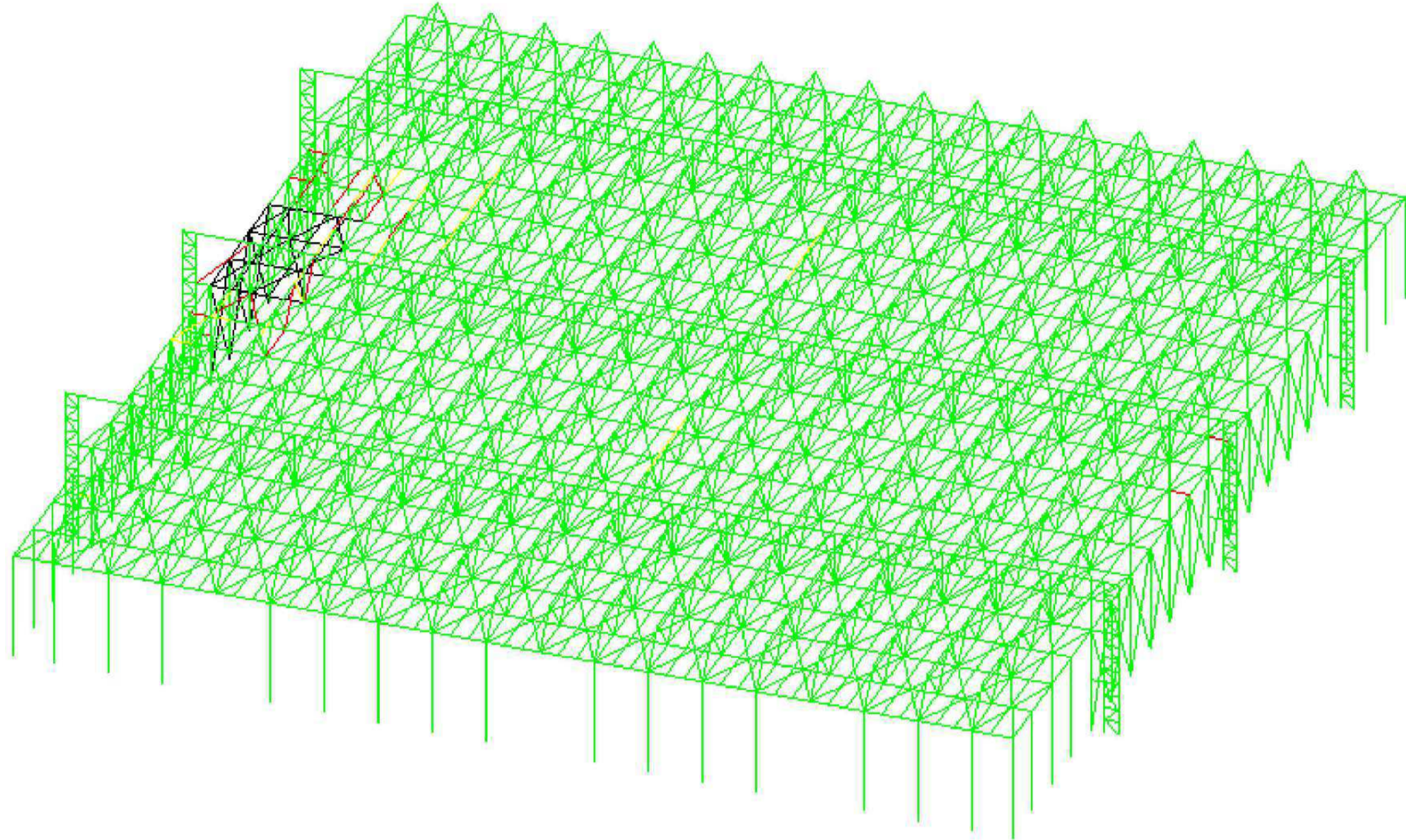
Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы, связей по покрытию)



Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	16.41	593	
16.41	32.82	214	
32.82	49.23	212	
49.23	65.64	166	
65.64	82.05	159	
82.05	98.46	140	
98.46	114.87	135	
114.87	131.27	143	
131.27	147.68	141	
147.68	164.09	135	
164.09	180.5	123	
180.5	196.91	126	
196.91	213.32	123	
213.32	229.73	110	
229.73	246.14	131	
246.14	262.55	164	

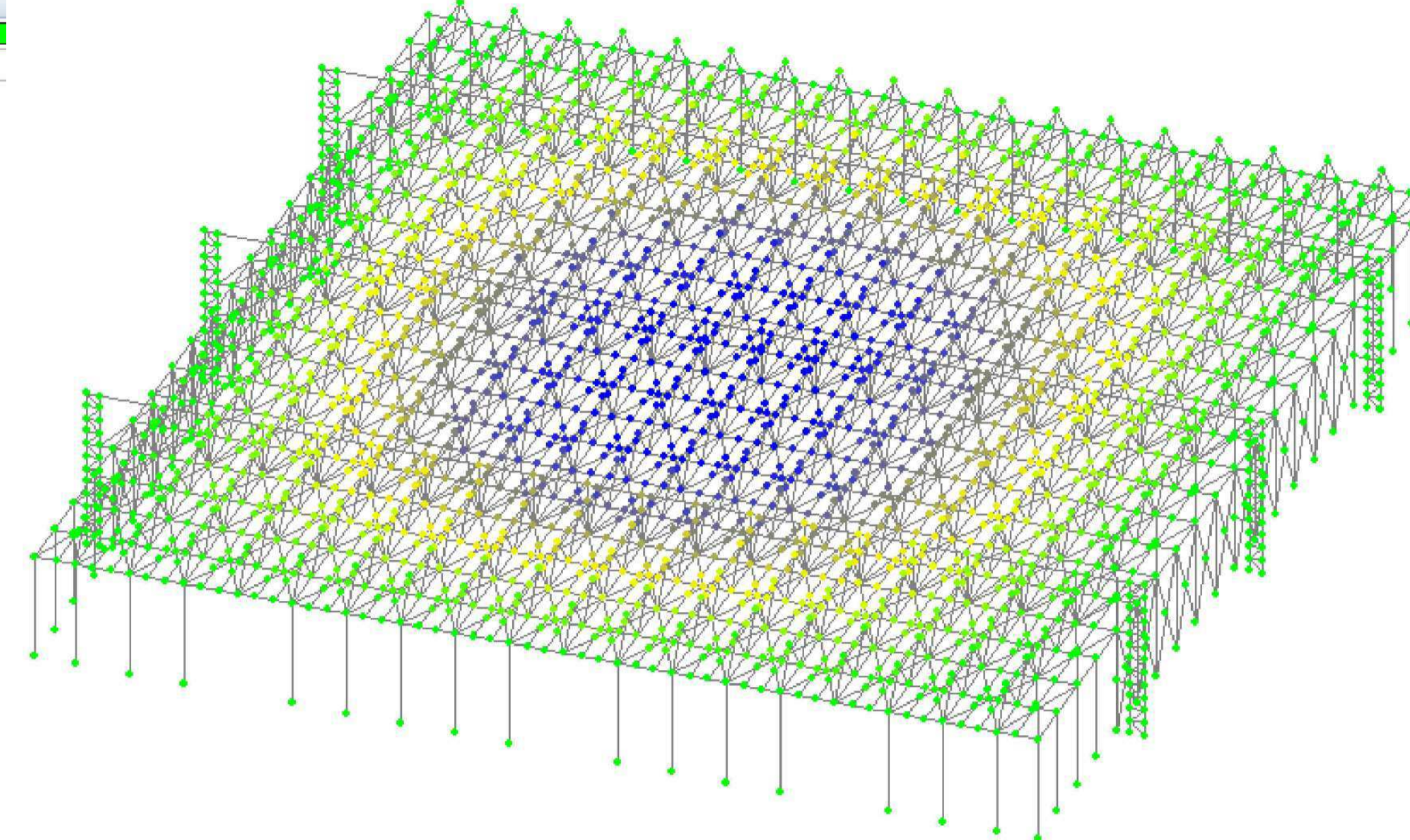
ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Фроловская А.В.				
Проверил	Фроловская А.В.				
Консультант	Фроловская А.В.				
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Зав. кафедрой	Дворниев С.В.				
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций				Страница	Лист
Вариант 1. Критический фактор $K_{max}$ , перемещения при нагрузке от пожара				4	6
				СКУС	

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы, связей по покрытию, связей между колоннами)



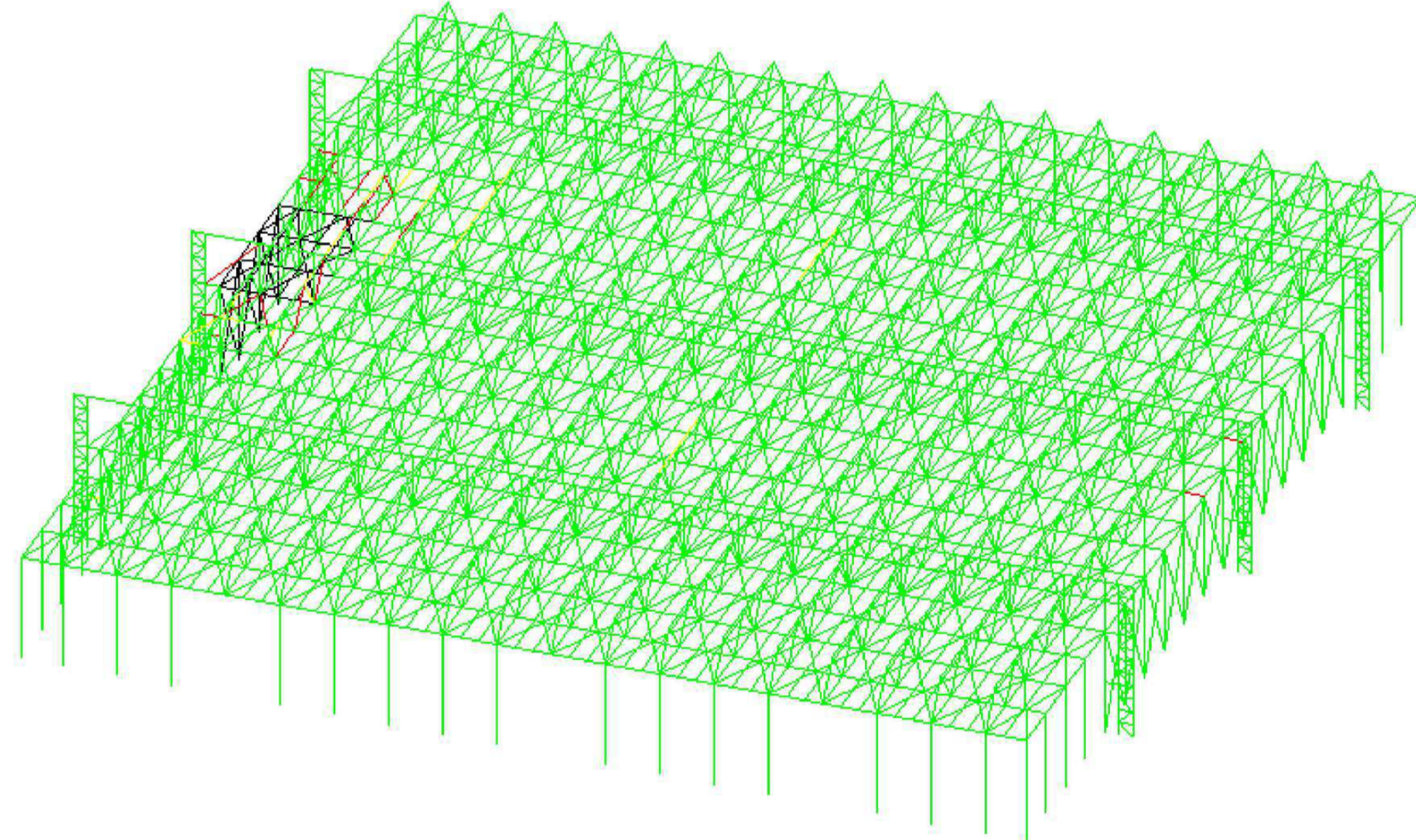
Критический фактор $K_{max}$		
0.11	0.9	6355
0.9	1.1	22
1.1	2.84	25

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы, связей по покрытию, связей между колоннами)



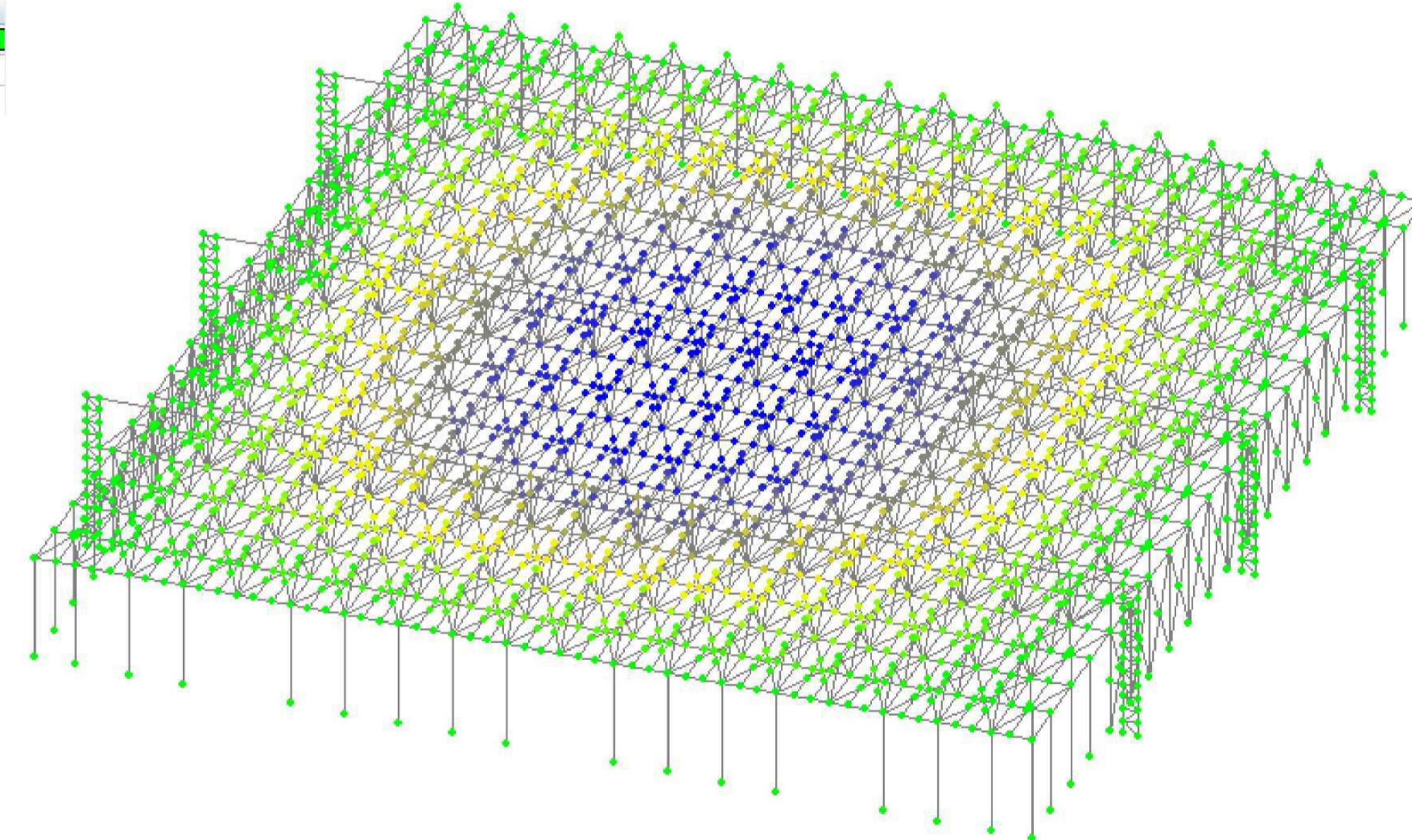
Суммарное перемещение		
мм	мм	мм
0	16.41	593
16.41	32.82	214
32.82	49.23	212
49.23	65.64	166
65.64	82.05	159
82.05	98.46	140
98.46	114.87	135
114.87	131.28	143
131.28	147.69	141
147.69	164.1	135
164.1	180.51	123
180.51	196.92	126
196.92	213.33	123
213.33	229.73	110
229.73	246.14	131
246.14	262.55	164

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы, связей по покрытию, связей между колоннами, колонн)



Критический фактор $K_{max}$		
0.11	0.9	6352
0.9	1.1	22
1.1	2.84	25

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов балок, прогонов и части нижнего пояса ригеля рамы, связей по покрытию, связей между колоннами, колонн)



Суммарное перемещение		
мм	мм	мм
0	16.41	593
16.41	32.82	214
32.82	49.23	212
49.23	65.64	166
65.64	82.05	159
82.05	98.46	140
98.46	114.87	135
114.87	131.28	143
131.28	147.69	141
147.69	164.1	135
164.1	180.51	123
180.51	196.92	126
196.92	213.33	123
213.33	229.74	110
229.74	246.15	131
246.15	262.56	164

Результаты при загрузке первого варианта здания особой нагрузкой (значения критического фактора)

Порядок обнуления жесткостей конструкций	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.11-0.9	6423
	0.9-1.1	11
	1.1-2.68	27
2	0.11-0.9	6398
	0.9-1.1	13
	1.1-2.76	24
3	0.11-0.9	6379
	0.9-1.1	13
	1.1-2.76	22
4	0.11-0.9	6355
	0.9-1.1	22
	1.1-2.84	25
5	0.11-0.9	6352
	0.9-1.1	22
	1.1-2.84	25

Результаты при загрузке первого варианта здания особой нагрузкой (значения перемещений)

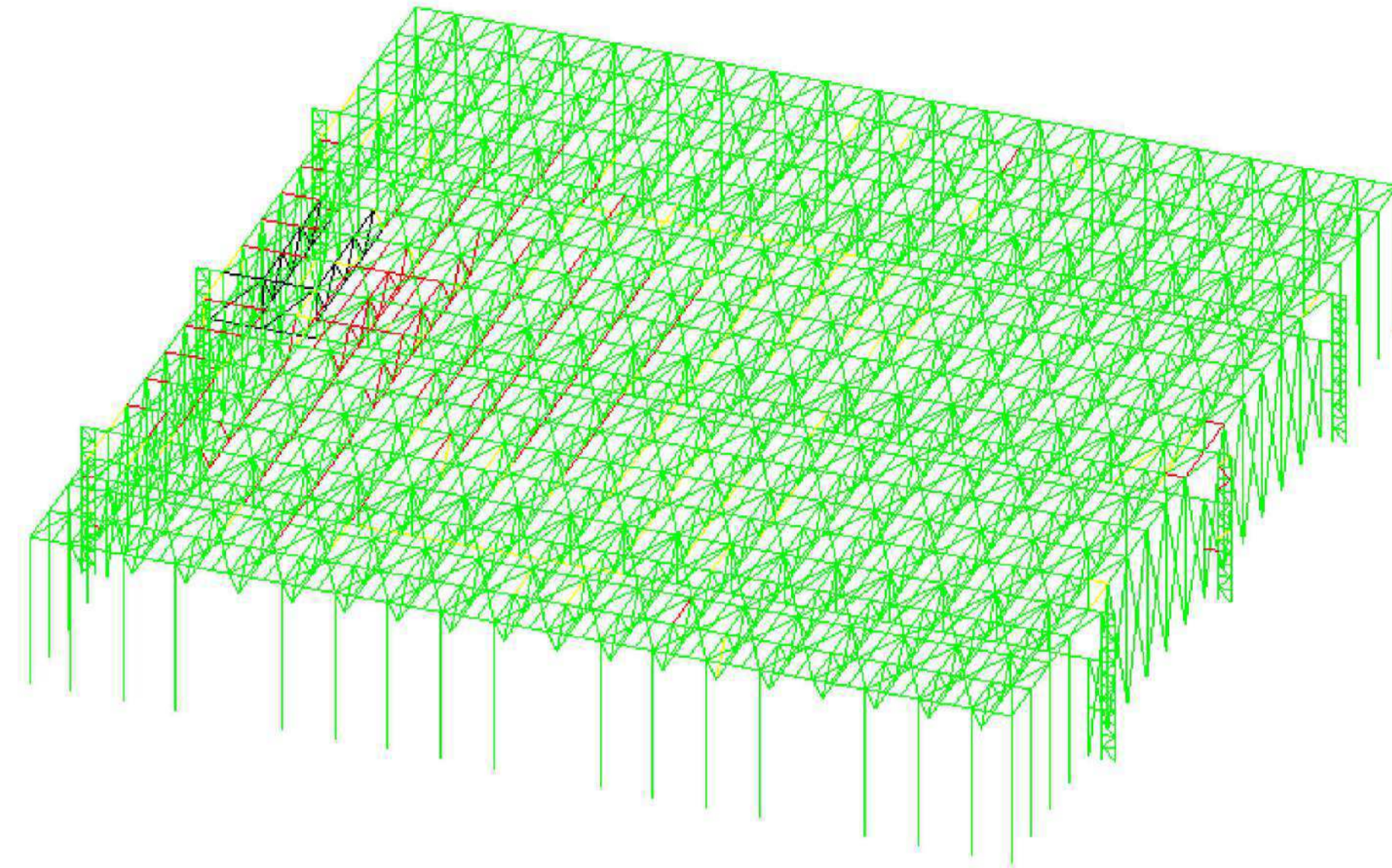
Порядок обнуления жесткостей конструкций	Значение $t_{max}$ перемещения до особой нагрузки, мм	Значение $t_{max}$ перемещения в результате приложения особой нагрузки, мм
1	241,74	247,28
2		260,59
3		262,55
4		262,55
5		262,56

При приложении нагрузки от пожара на первый вариант каркаса критический фактор превысил допустимое значение у 47 элементов, в основном это элементы покрытия (прогоны, балки, элементы ферм). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки увеличилось на 20,82 мм, что составляет 8,6%. Важно отметить, что после потери несущей способности конструкций, которые были на пути у пожара, не последовало прогрессирующего обрушения конструкций, из которых состоит каркас здания.

ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"					
Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уз.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Фроловская А.В.				
Проверил	Фроловская А.В.				
Консультант	Фроловская А.В.				
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Зав. кафедрой	Дворов С.В.				
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертикального ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций				Страница	Листов
Вариант 1. Критический фактор $K_{max}$ , перемещения при нагрузке от пожара. Таблицы с результатами				4	7
					СКУС

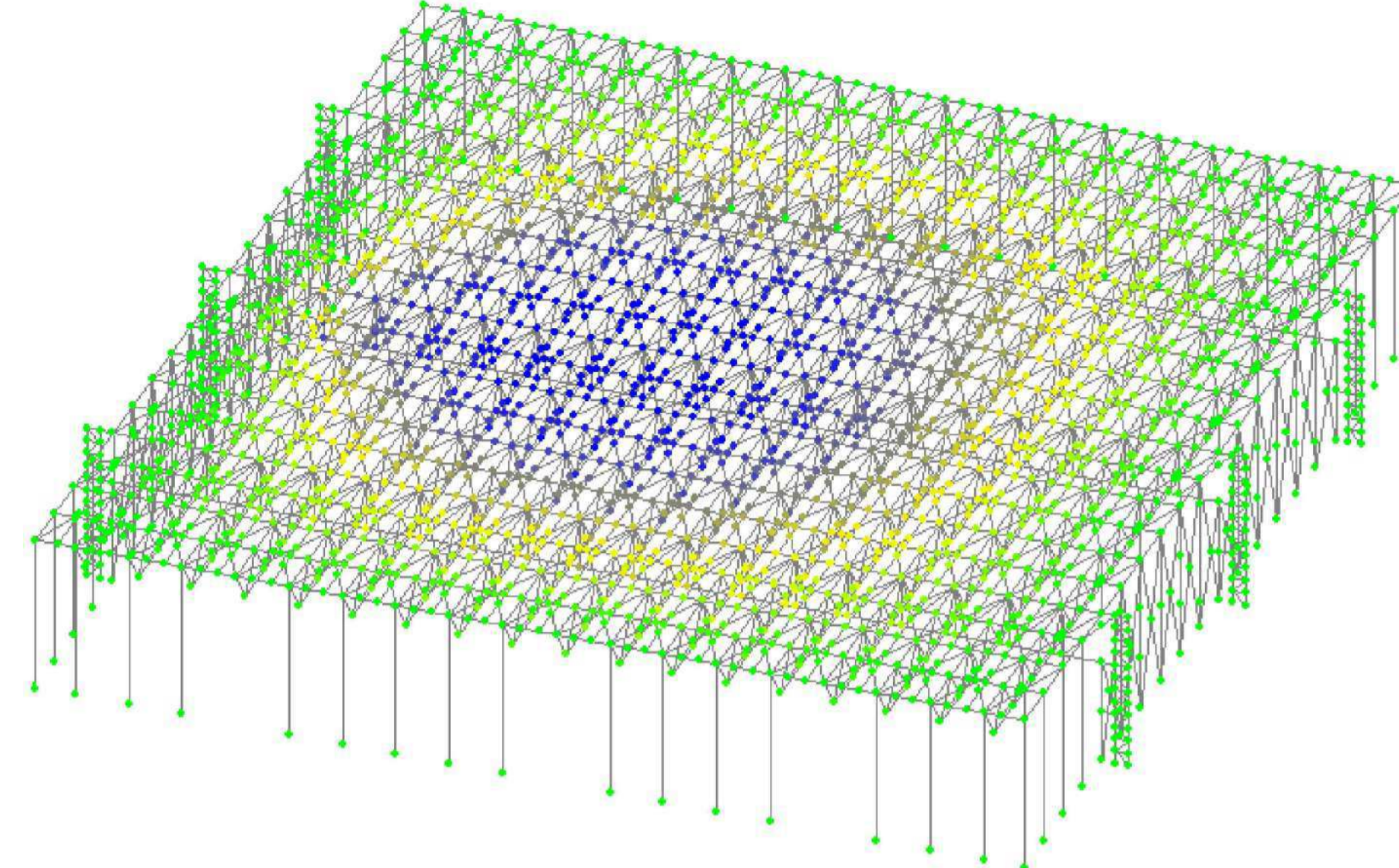
Вариант 2

Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций  
Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов ферм и ригеля рамы)



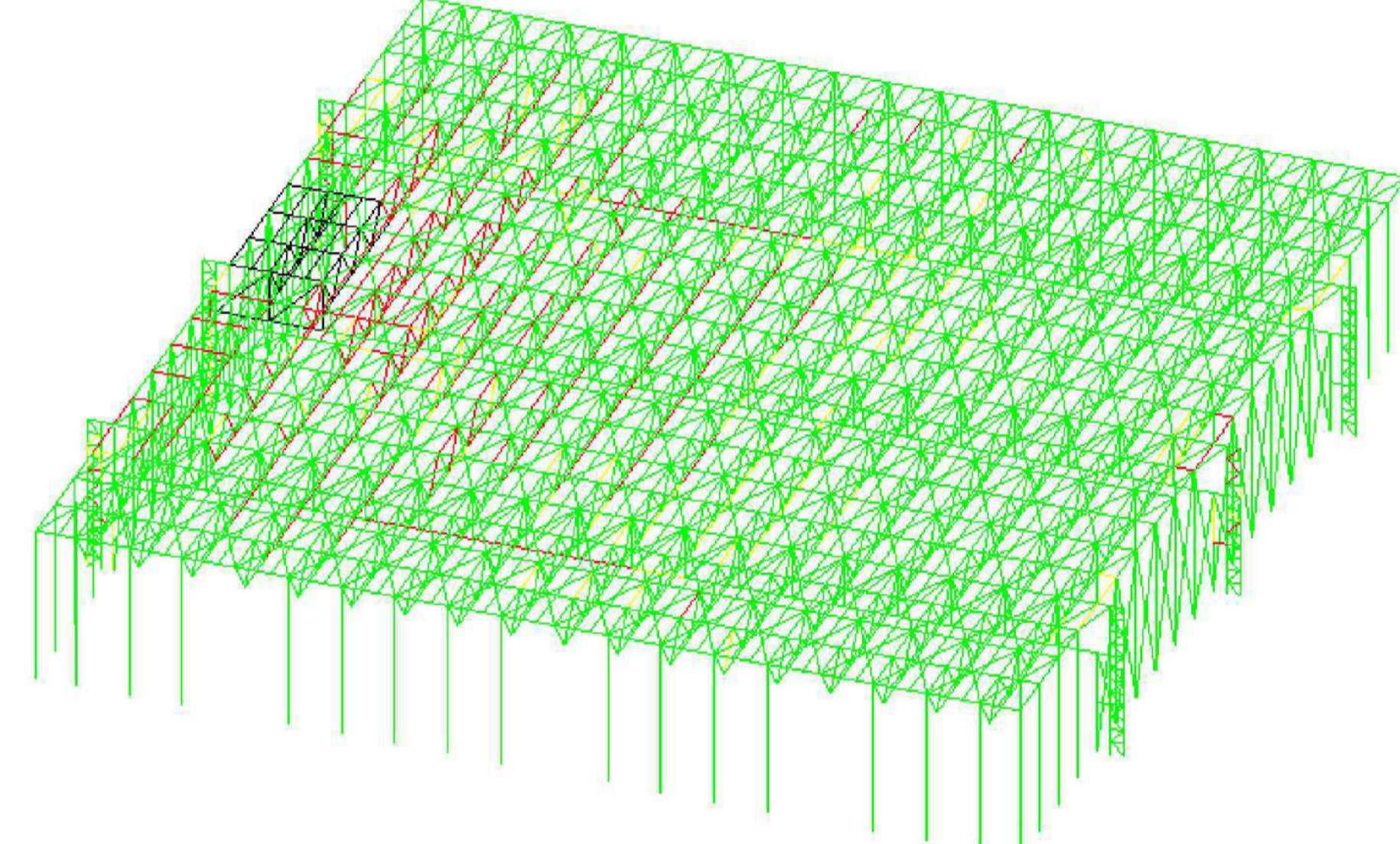
Критический фактор $K_{max}$			
0.09	0.9	6205	
0.9	1.1	108	
1.1	17.51	176	

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов ферм и ригеля рамы)



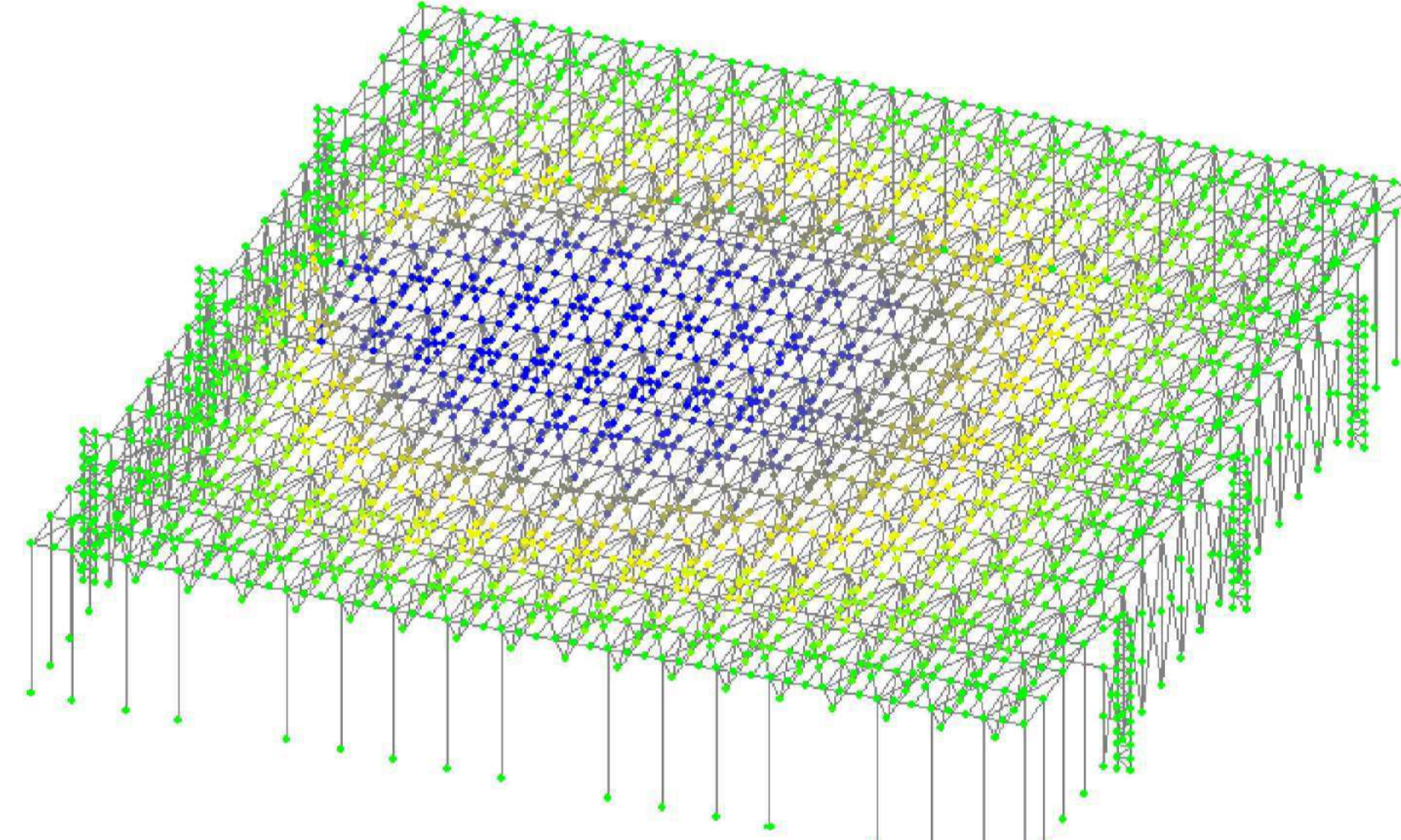
Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	24.91	647	
24.91	49.82	259	
49.82	74.72	222	
74.72	99.63	159	
99.63	124.54	143	
124.54	149.45	151	
149.45	174.36	144	
174.36	199.27	142	
199.27	224.17	120	
224.17	249.08	126	
249.08	273.99	112	
273.99	298.9	124	
298.9	323.81	95	
323.81	348.71	117	
348.71	373.62	145	
373.62	398.53	157	

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов)



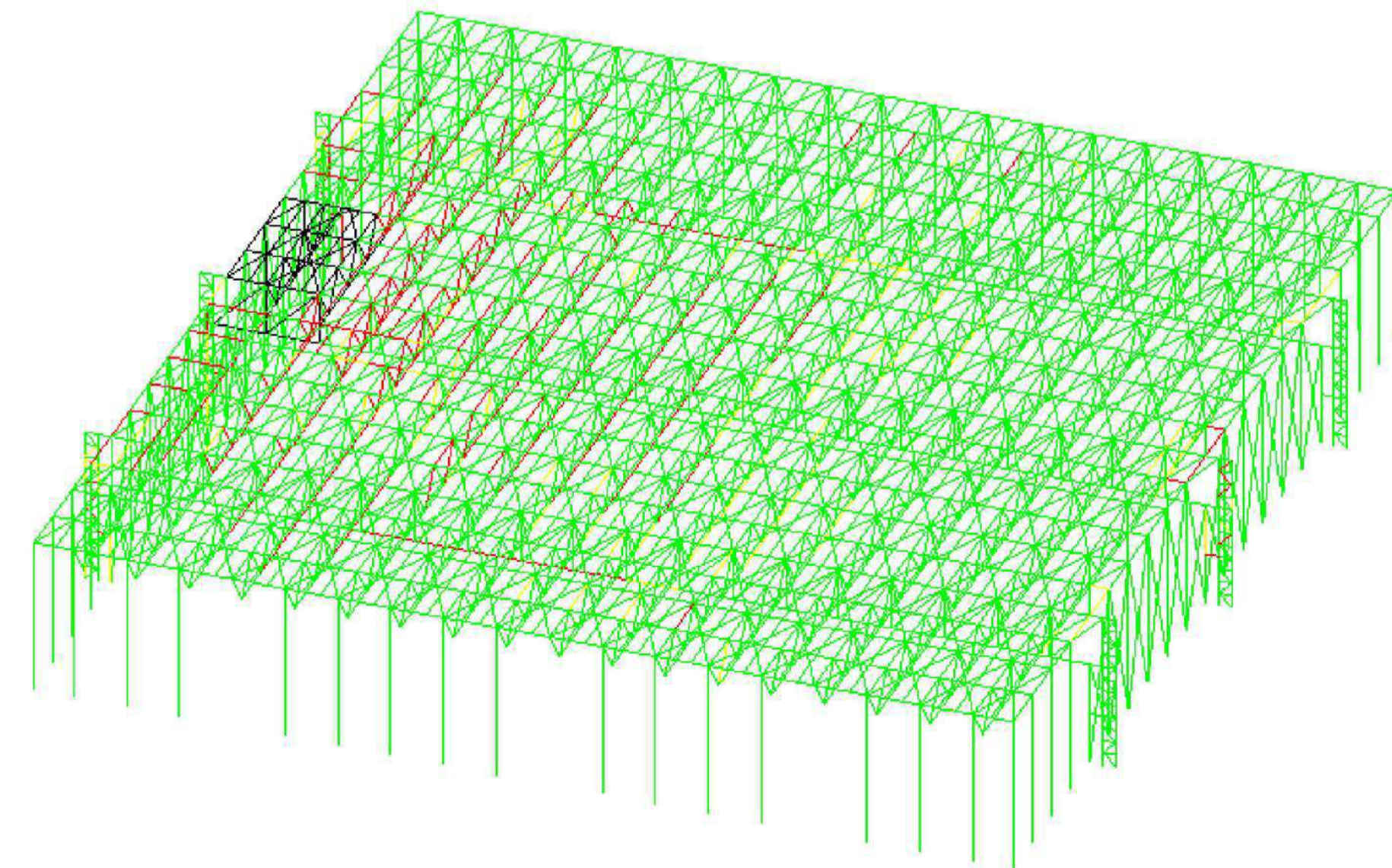
Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	6028	
0.9	1.1	132	
1.1	30.71	287	

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов)



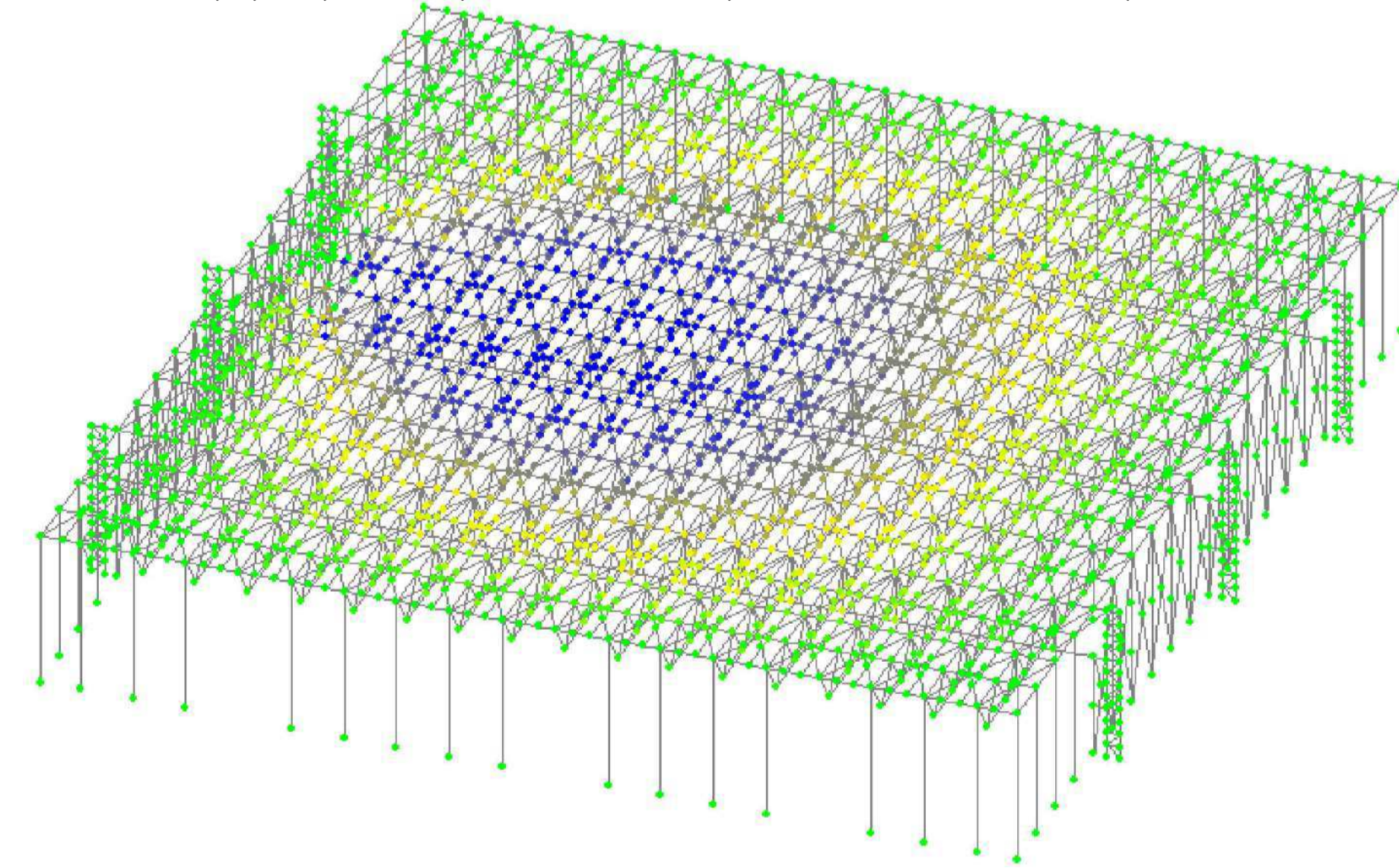
Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	28.54	663	
28.54	57.08	272	
57.08	85.62	217	
85.62	114.16	162	
114.16	142.69	144	
142.69	171.23	139	
171.23	199.77	154	
199.77	228.31	136	
228.31	256.85	121	
256.85	285.39	130	
285.39	313.93	121	
313.93	342.47	114	
342.47	371.01	101	
371.01	399.55	109	
399.55	428.08	123	
428.08	456.62	157	

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов, связей по поркытию)



Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	6004	
0.9	1.1	133	
1.1	31.09	289	

Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов, связей по поркытию)



Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	28.6	677	
28.6	57.19	267	
57.19	85.79	215	
85.79	114.38	163	
114.38	142.98	146	
142.98	171.57	137	
171.57	200.17	151	
200.17	228.76	134	
228.76	257.36	122	
257.36	285.96	126	
285.96	314.55	121	
314.55	343.15	113	
343.15	371.74	104	
371.74	400.34	108	
400.34	428.93	122	
428.93	457.53	157	

ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уз.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Фроловская А.В.				
Проверил	Фроловская А.В.				
Консультант	Фроловская А.В.				
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Зав. кафедрой	Дворниев С.В.				
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций				Страница	Лист
				4	8
Вариант 1. Критический фактор $K_{max}$ , перемещения при нагрузке от пожара.				СКУС	



Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов, связей по поркытию, связей между колоннами)

Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	6004	
0.9	1.1	133	
1.1	31.09	289	

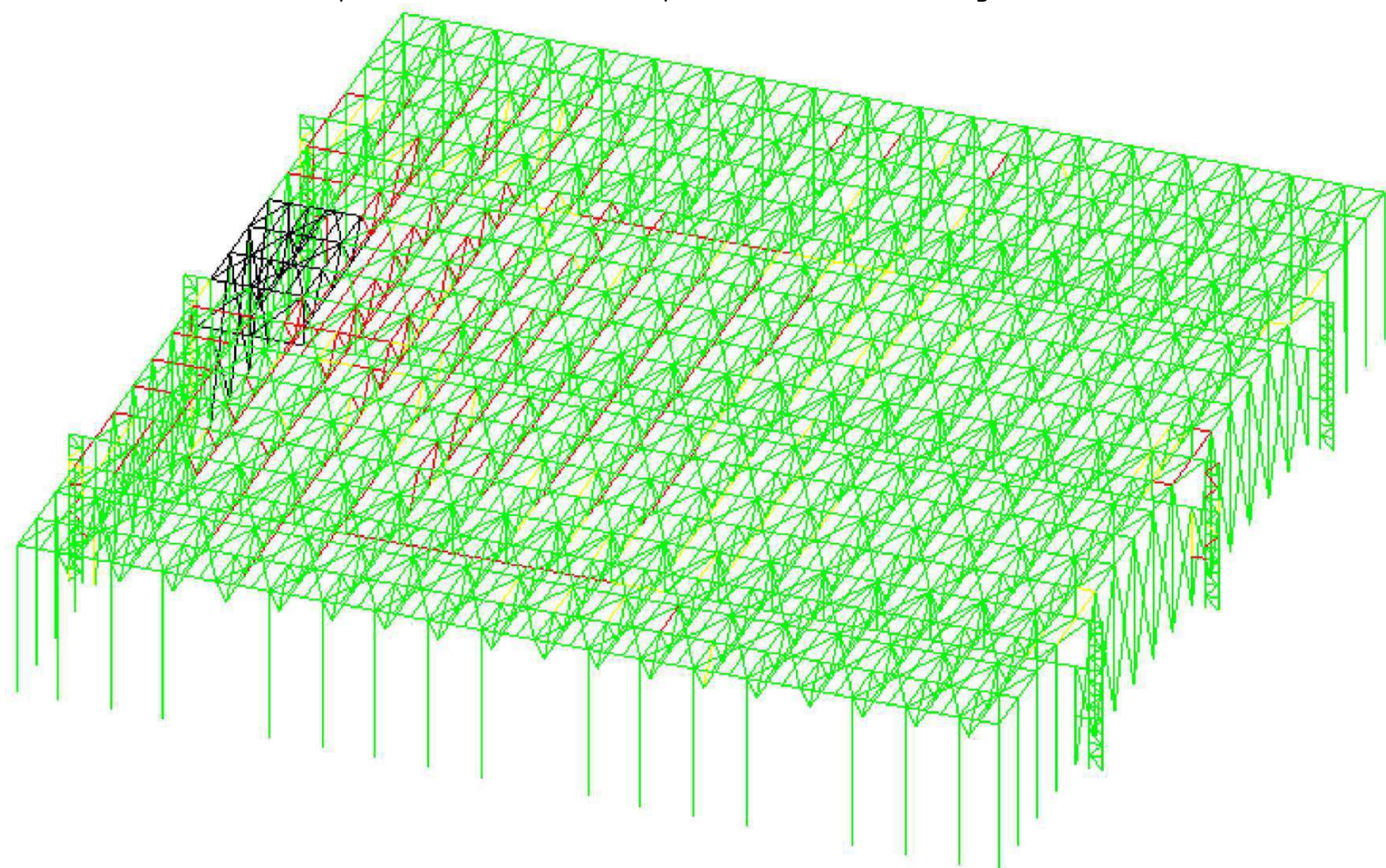
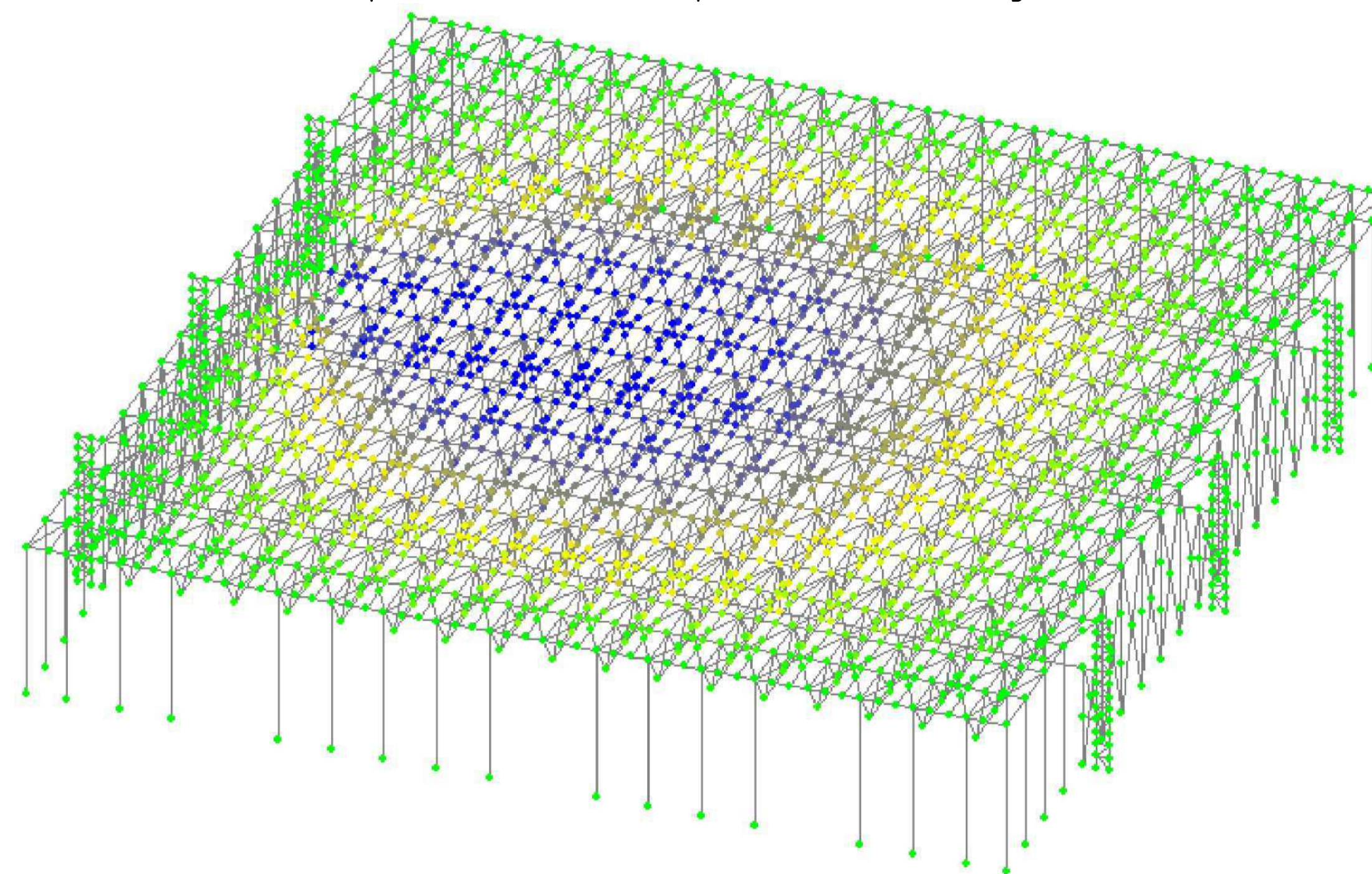


Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов, связей по поркытию, связей между колоннами)

Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	28.6	677	
28.6	57.19	267	
57.19	85.79	215	
85.79	114.38	163	
114.38	142.98	146	
142.98	171.57	137	
171.57	200.17	151	
200.17	228.76	134	
228.76	257.36	122	
257.36	285.96	126	
285.96	314.55	121	
314.55	343.15	113	
343.15	371.74	104	
371.74	400.34	108	
400.34	428.93	122	
428.93	457.53	157	



Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от пожара (удаление элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов, связей по поркытию, связей между колоннами, колонн)

Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.9	5984	
0.9	1.1	133	
1.1	31.09	289	

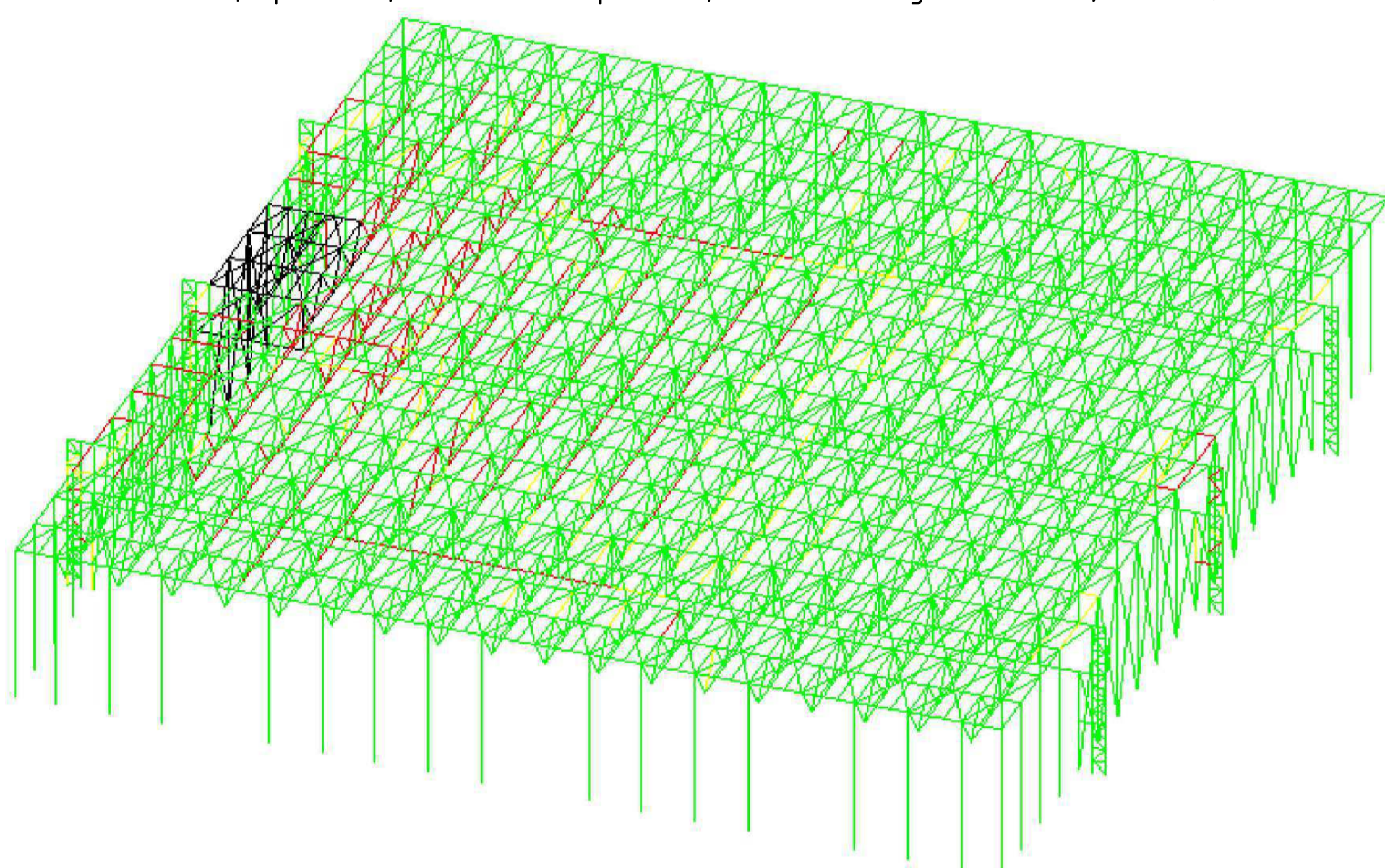
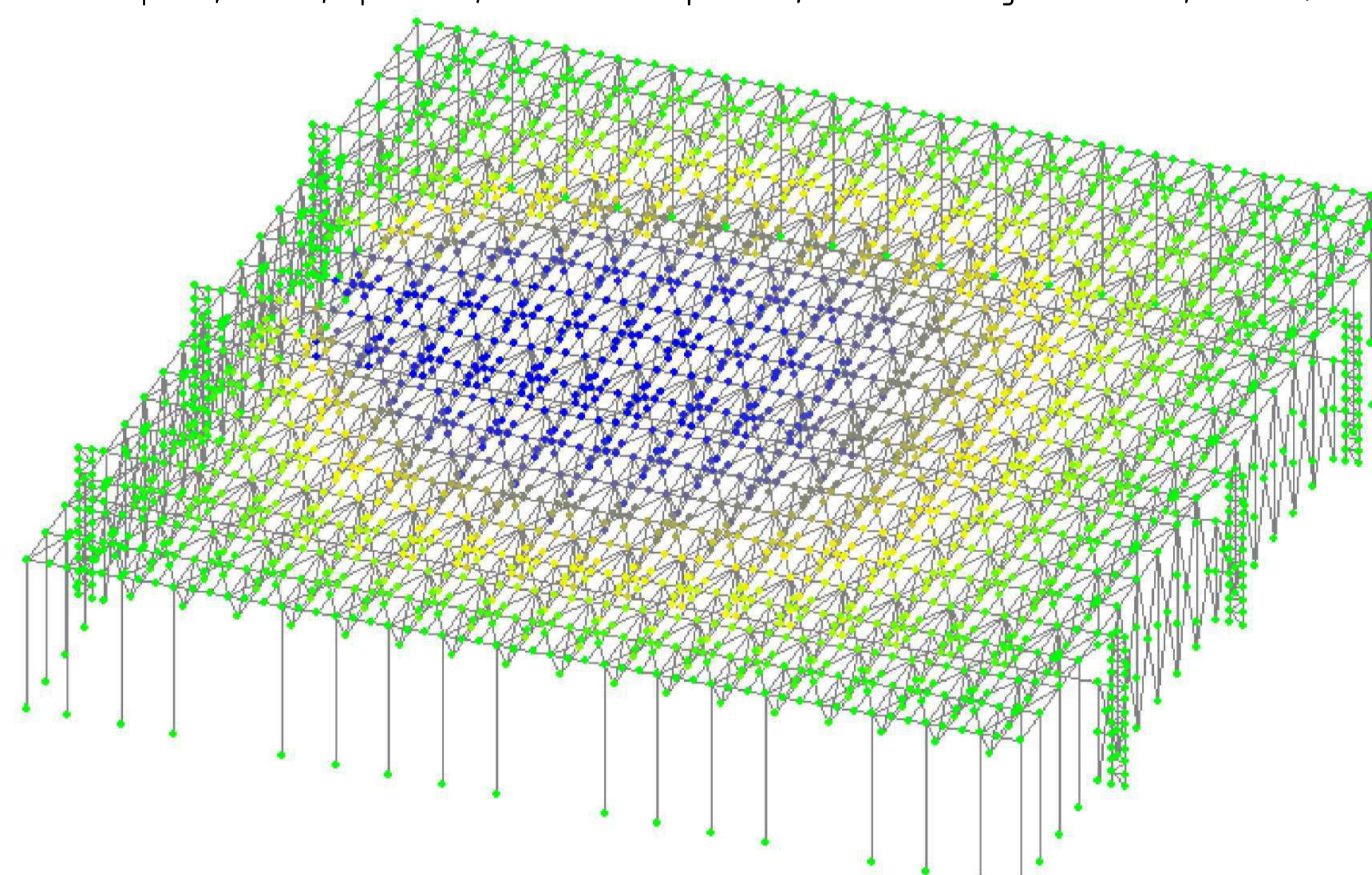


Схема перемещений при нагрузке от пожара (при удалении элементов ферм, ригеля рамы, балки, прогонов, связей по поркытию, связей между колоннами, колонн)

Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	28.65	681	
28.65	57.31	266	
57.31	85.96	215	
85.96	114.61	162	
114.61	143.27	148	
143.27	171.92	136	
171.92	200.58	149	
200.58	229.23	135	
229.23	257.88	122	
257.88	286.54	124	
286.54	315.19	121	
315.19	343.84	115	
343.84	372.5	105	
372.5	401.15	105	
401.15	429.8	124	
429.8	458.46	155	



Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения критического фактора)

Порядок обнуления жесткостей конструкций	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.11-0.9	6205
	0.9-1.1	108
	1.1-17.51	176
2	0.11-0.9	6028
	0.9-1.1	132
3	1.1-30.71	287
	0.11-0.9	6004
	0.9-1.1	133
4	1.1-31.09	289
	0.11-0.9	5992
	0.9-1.1	133
5	1.1-31.09	289
	0.11-0.9	6352
	0.9-1.1	133
	1.1-31.09	289

Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения перемещений)

Порядок обнуления жесткостей конструкций	Значение $\Delta_{max}$ перемещения до особой нагрузки, мм	Значение $\Delta_{max}$ перемещения в результате приложения особой нагрузки, мм
1	308,64	398,53
2		456,62
3		457,53
4		457,53
5		458,46

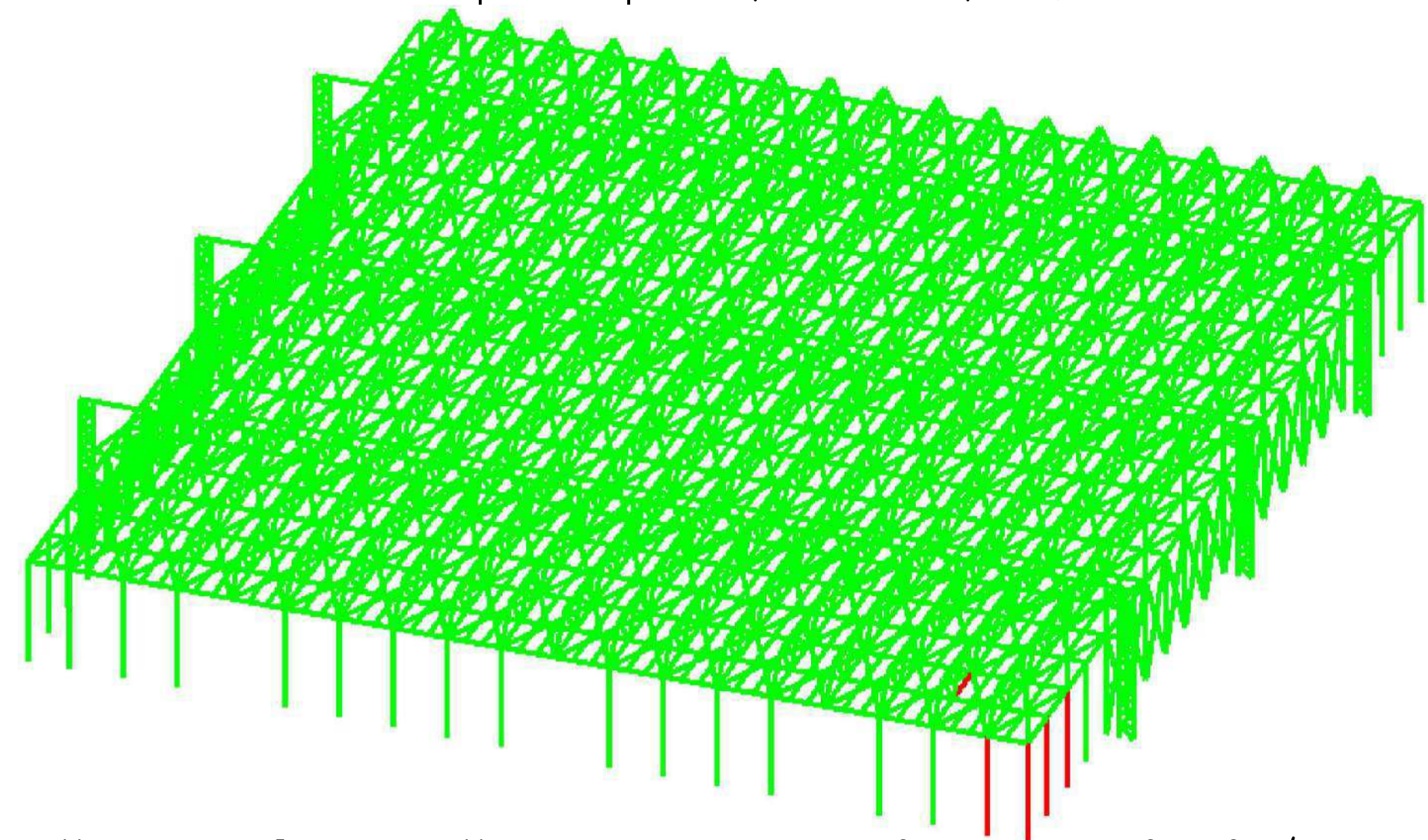
При приложении нагрузки от пожара на второй вариант каркаса критический фактор превысил допустимое значение у 422 элементов в основном это элементы покрытия (прогоны, балки, элементы ферм). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки увеличилось на 149,82 мм, что составляет 48,5 %. Согласно СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия" максимально допустимое перемещение для данного авиационного ангара не должно превышать 370 мм, что говорит о том, что прогибы больше максимально допустимого значения. К тому же, после того, как элементы, которые подвержены пожару, потеряли несущую способность, большинство элементов покрытия потеряют свою жизнеспособность.

ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАОВ УО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Фроловская А.В.				
Проверил	Фроловская А.В.				
Консультант	Фроловская А.В.				
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Заб. кафедрой	Дворниев С.В.				
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций				Страница	Лист
Вариант 2. Критический фактор $K_{max}$ , перемещения при нагрузке от пожара. Таблицы с результатами				4	9
				СКУС	

### Вариант 1

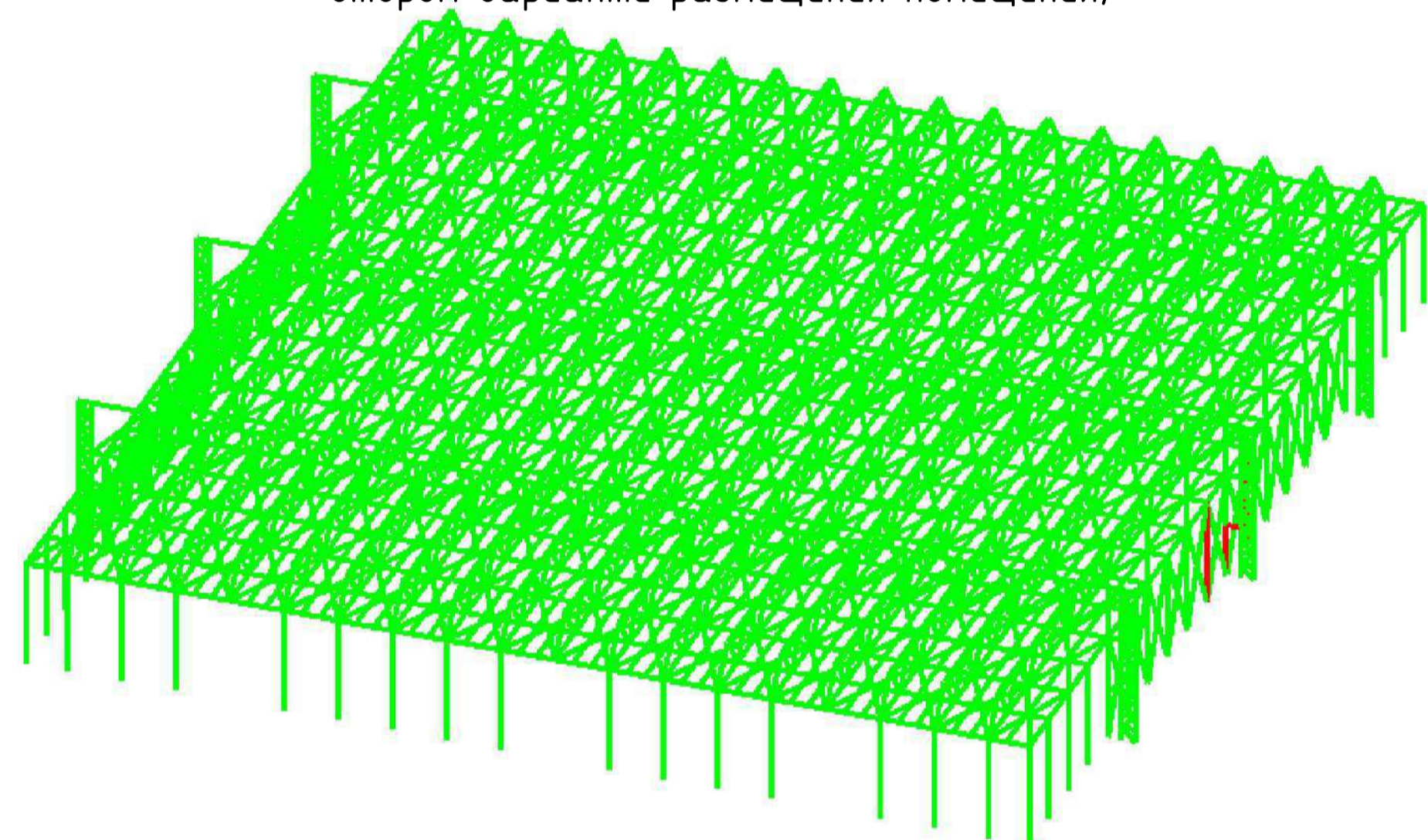
Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от внутреннего взрыва (при первом варианте размещения помещения)



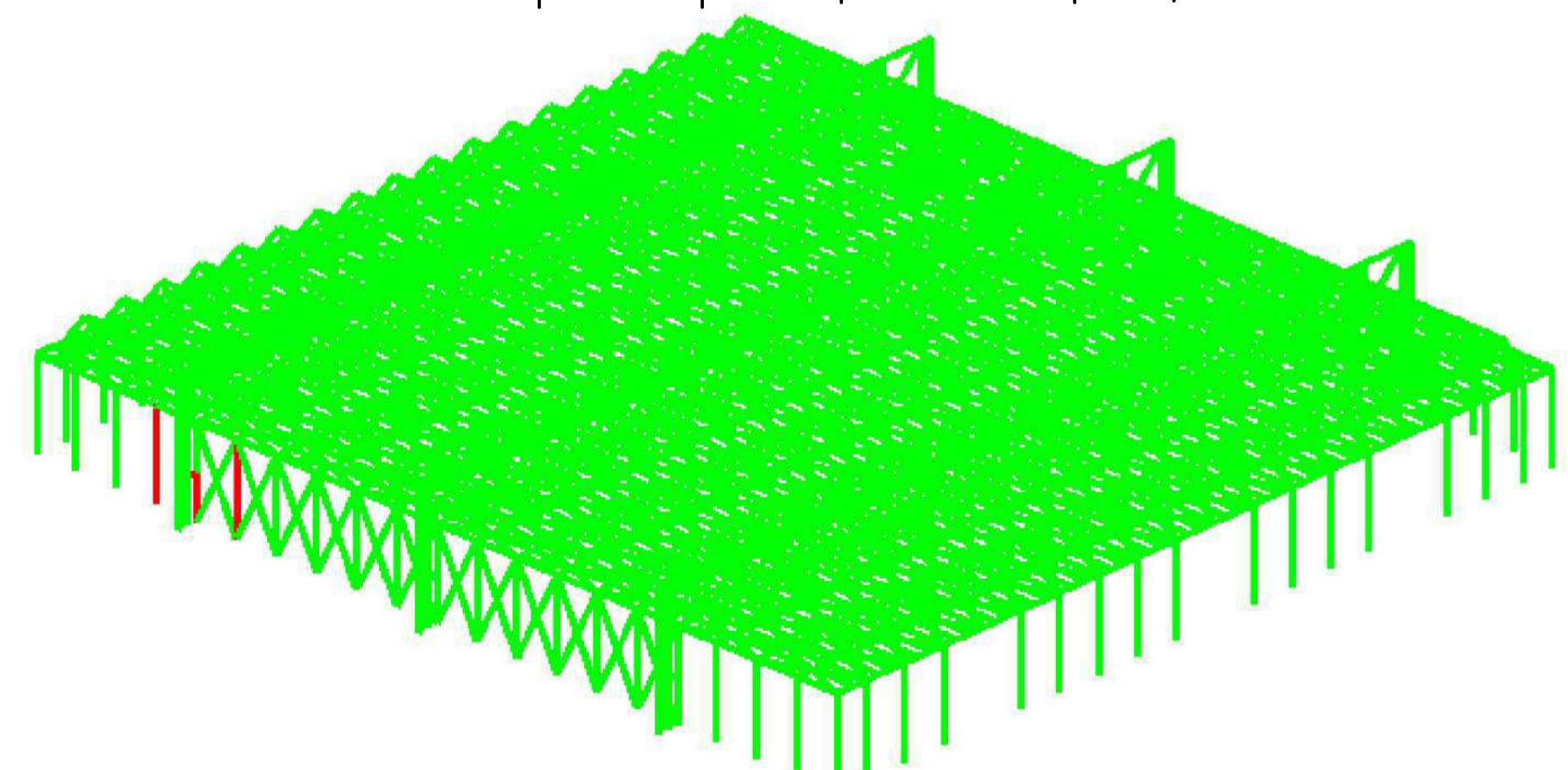
Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.99	6475	0
0.99	1.01	0	0
1.01	43.99	5	5

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от внутреннего взрыва (при втором варианте размещения помещения)



Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.99	6476	0
0.99	1.01	0	0
1.01	1.6	4	4

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от внутреннего взрыва (при третьем варианте размещения помещения)



Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.99	6476	0
0.99	1.01	0	0
1.01	1.7	4	4

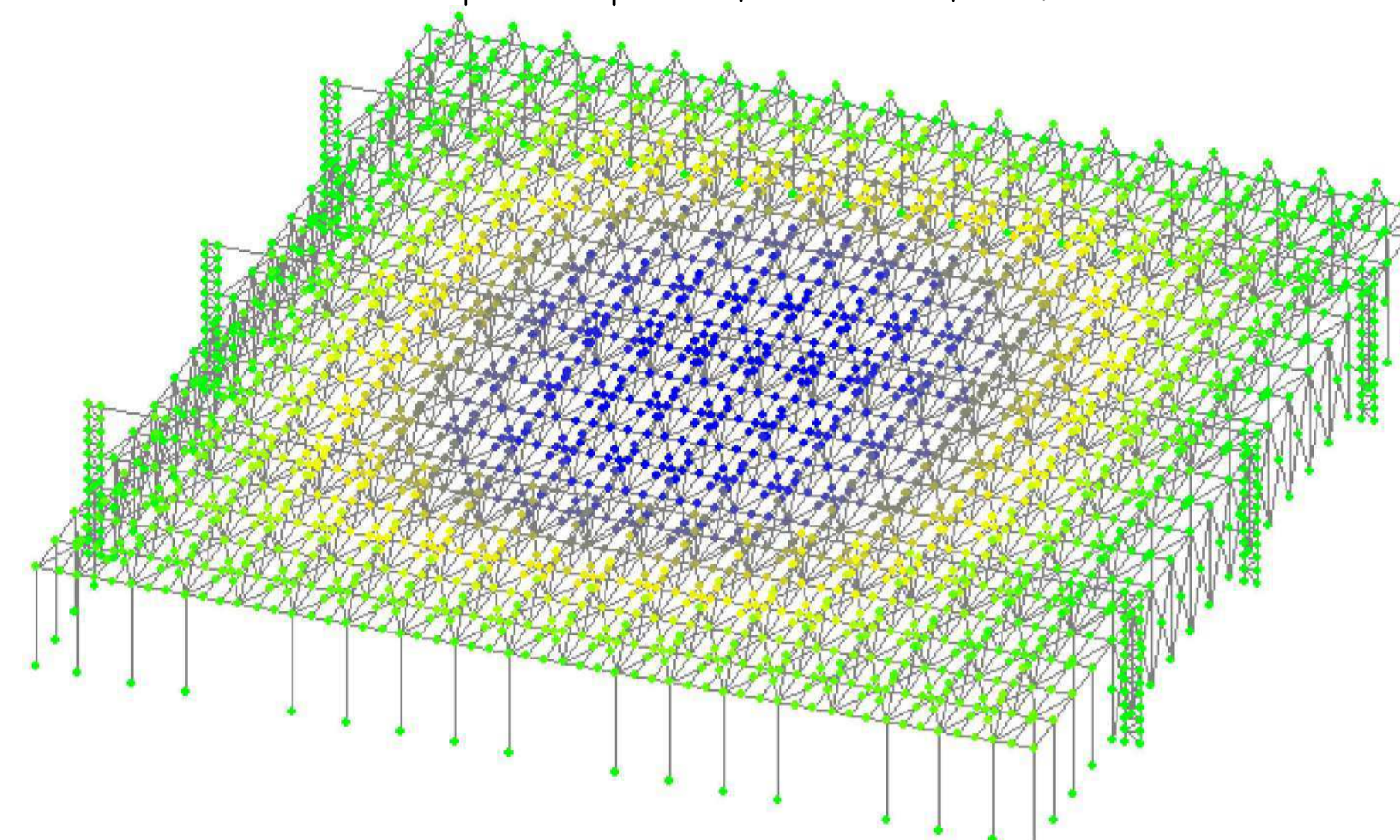
Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения критического фактора)

Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения перемещений)

Номер помещения	Значение критического фактора	Количество элементов	Номер помещения	Значение $\max$ перемещения до особой нагрузки, мм	Значение $\max$ перемещения в результате приложения особой нагрузки, мм
1	0.11-0.9	6475	1	241,74	241,03
	0.9-1.01	0			227,11
	1.01-43.99	5			235,55
2	0.11-0.9	6476	2	227,11	151
	0.9-1.01	0			127
	1.01-1.6	4			119
3	0.11-0.9	6476	3	227,11	127
	0.9-1.01	0			127
	1.01-1.7	4			127

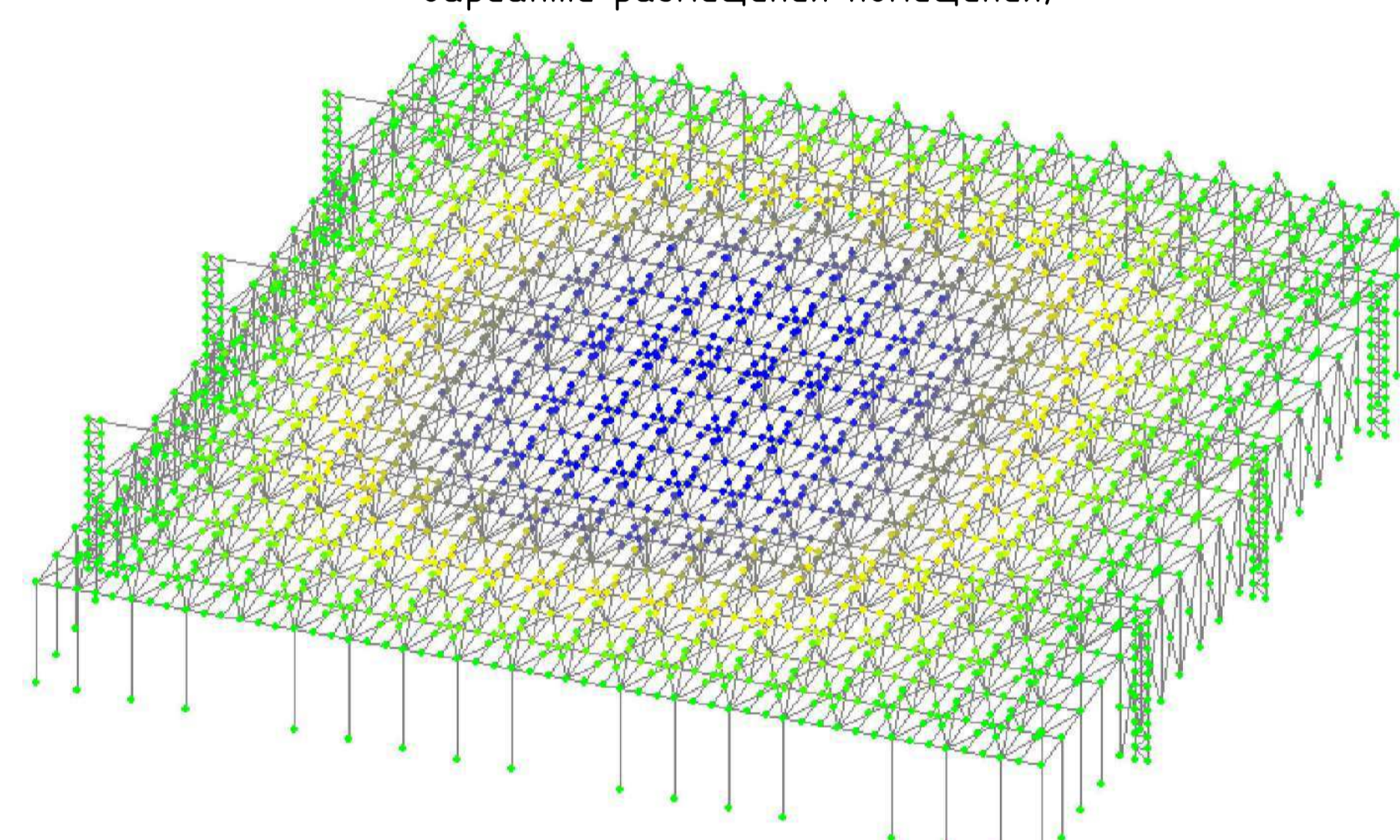
При приложении внутреннего взрывного воздействия на первый вид каркаса назначили три возможных варианта размещения помещений. В итоге наибольшее количество элементов, потерявших несущую способность (5 элементов), и максимальное значение критического фактора 43,88 возникло при угловом расположении помещения (помещение 1). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки уменьшились до минимального значения 227,11 мм, в помещении 2, расположенном справа, в средней части здания. Следовательно, необходимо размещать помещение с хранением авиационного топлива, так, как размещено помещение 2.

Схема перемещений при нагрузке от внутреннего взрыва (при первом варианте размещения помещения)



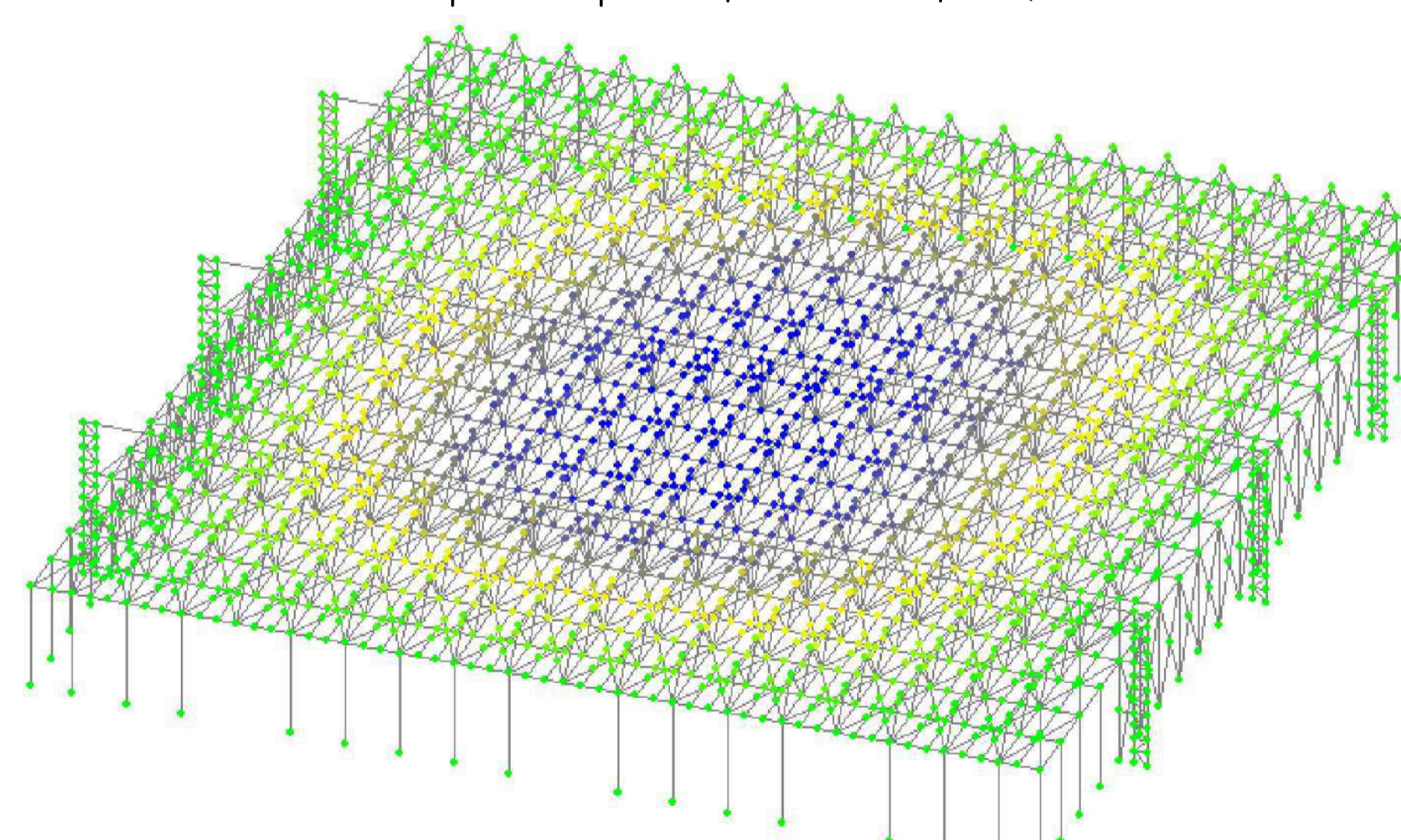
Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	15.06	418	
15.06	30.13	180	
30.13	45.19	262	
45.19	60.26	267	
60.26	75.32	192	
75.32	90.39	143	
90.39	105.45	145	
105.45	120.52	144	
120.52	135.58	146	
135.58	150.65	129	
150.65	165.71	133	
165.71	180.78	119	
180.78	195.84	135	
195.84	210.9	108	
210.9	225.97	124	
225.97	241.03	170	

Схема перемещений при нагрузке от внутреннего взрыва (при втором варианте размещения помещения)



Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	14.19	506	
14.19	28.39	252	
28.39	42.58	250	
42.58	56.78	187	
56.78	70.97	144	
70.97	85.17	139	
85.17	99.36	137	
99.36	113.56	150	
113.56	127.75	145	
127.75	141.95	122	
141.95	156.14	122	
156.14	170.34	120	
170.34	184.53	137	
184.53	198.72	113	
198.72	212.92	121	
212.92	227.11	170	

Схема перемещений при нагрузке от внутреннего взрыва (при третьем варианте размещения помещения)

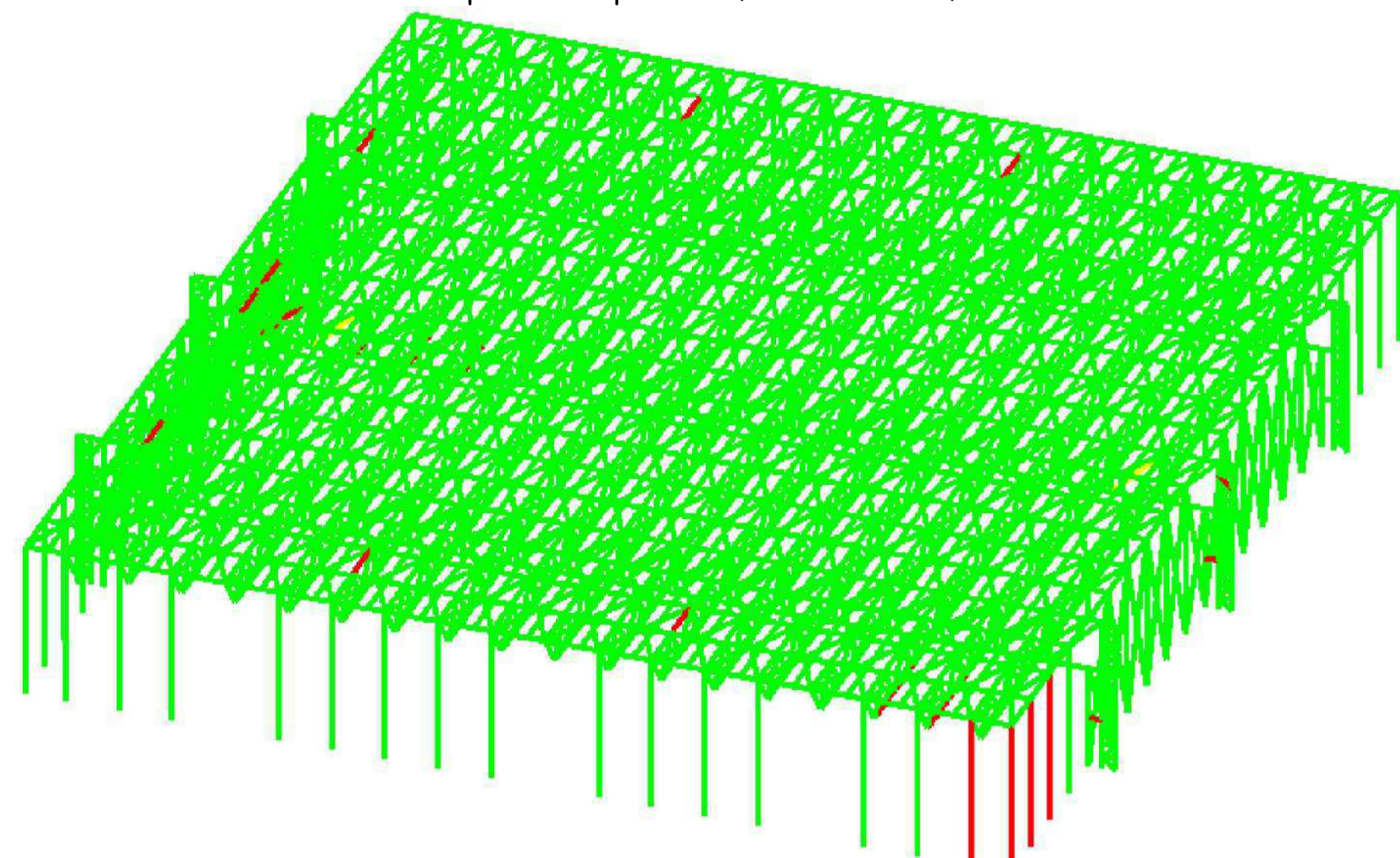


Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	14.72	392	
14.72	29.44	309	
29.44	44.17	298	
44.17	58.89	192	
58.89	73.61	164	
73.61	88.33	138	
88.33	103.05	135	
103.05	117.78	146	
117.78	132.5	147	
132.5	147.22	120	
147.22	161.94	135	
161.94	176.67	115	
176.67	191.39	127	
191.39	206.11	119	
206.11	220.83	127	
220.83	235.55	151	

Вариант 2

Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций

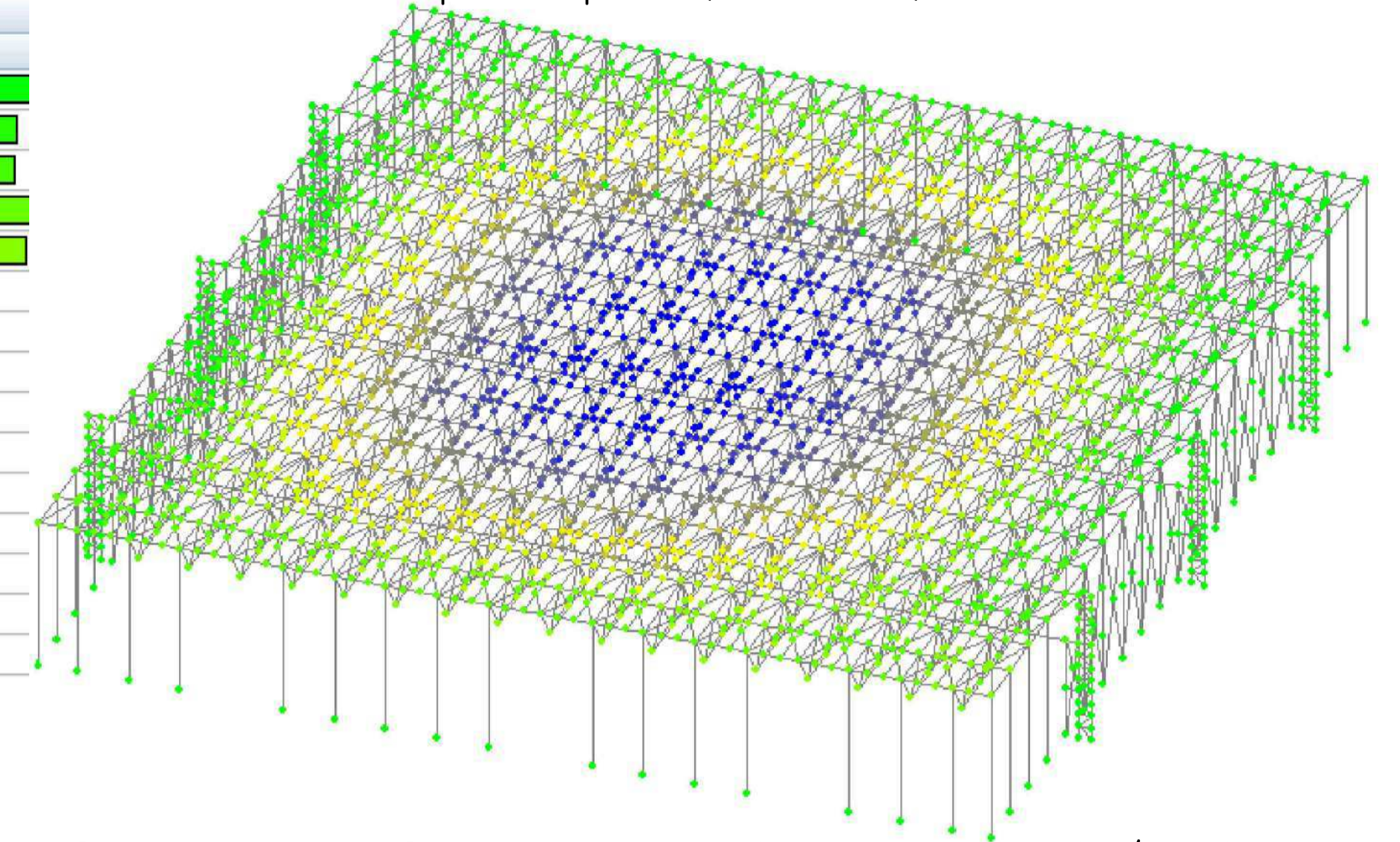
Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от внутреннего взрыва (при первом варианте размещения помещения)



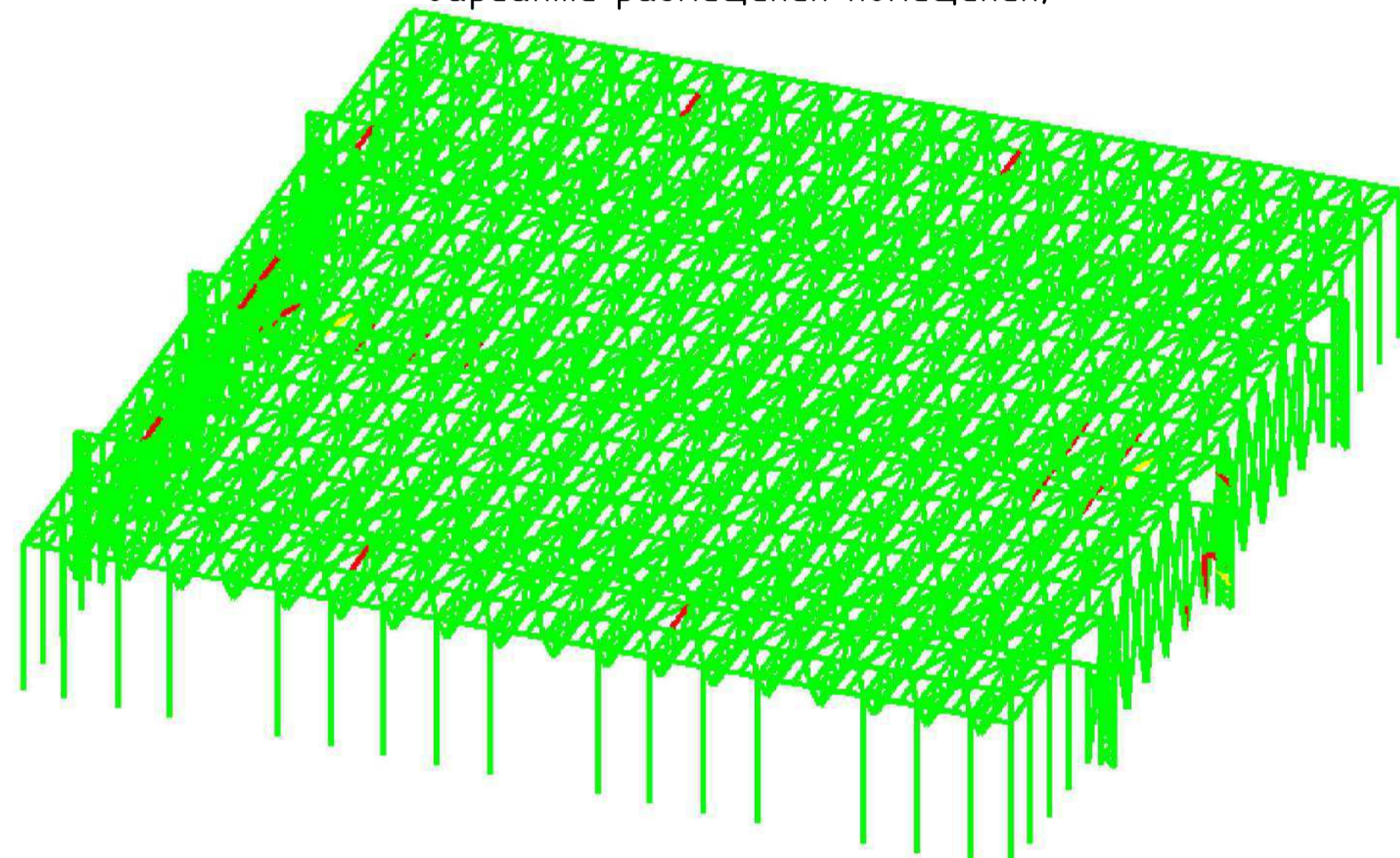
Критический фактор $K_{max}$			
0.13	0.99	6499	
0.99	1.01	3	
1.01	28.19	26	

Схема перемещений при нагрузке от внутреннего взрыва (при первом варианте размещения помещения)

Суммарное перемещение			
	мм	мм	
0	19.21	364	
19.21	38.42	225	
38.42	57.63	220	
57.63	76.84	311	
76.84	96.05	238	
96.05	115.26	157	
115.26	134.47	145	
134.47	153.68	156	
153.68	172.89	149	
172.89	192.09	124	
192.09	211.3	132	
211.3	230.51	123	
230.51	249.72	128	
249.72	268.93	113	
268.93	288.14	123	
288.14	307.35	155	



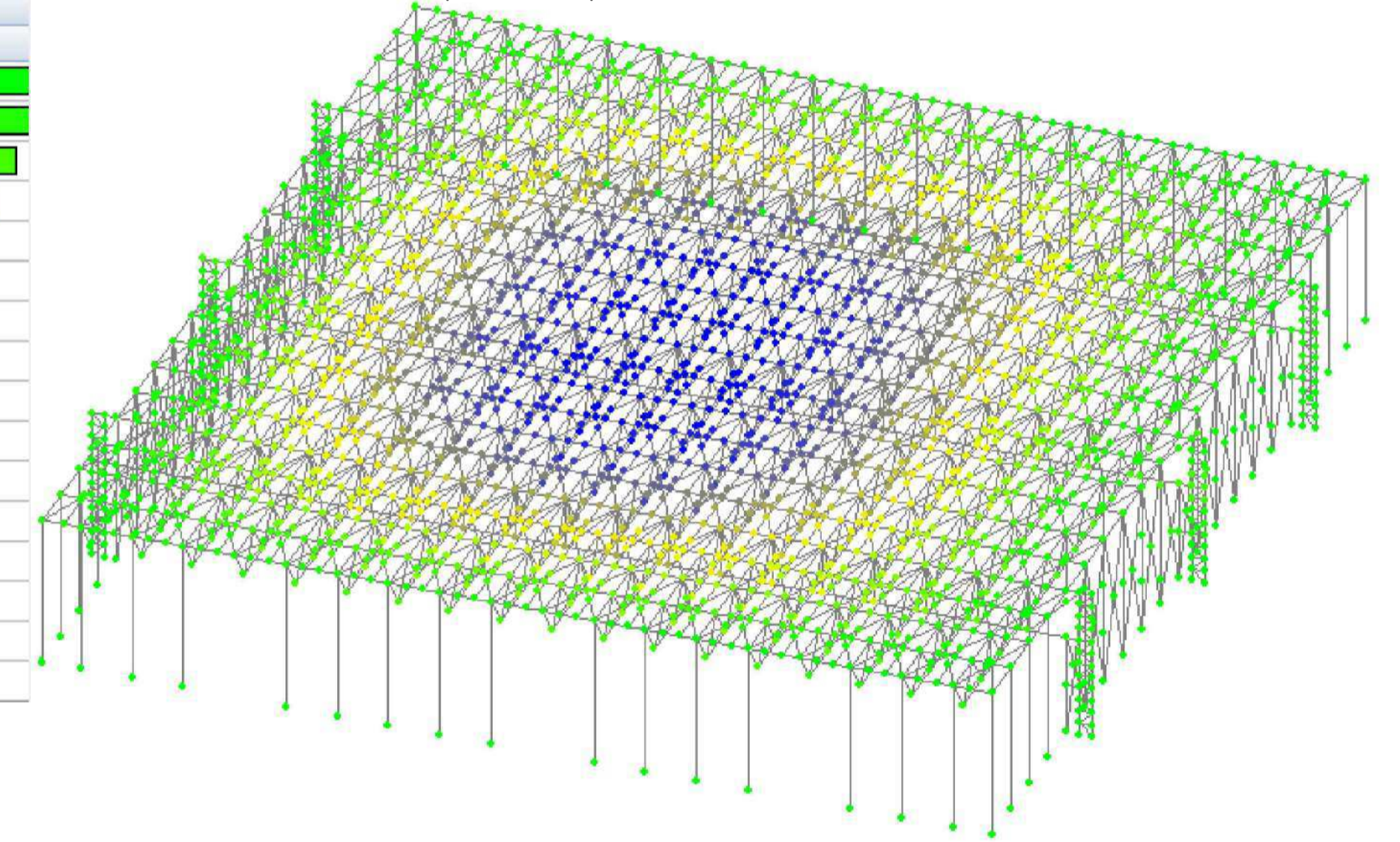
Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от внутреннего взрыва (при втором варианте размещения помещения)



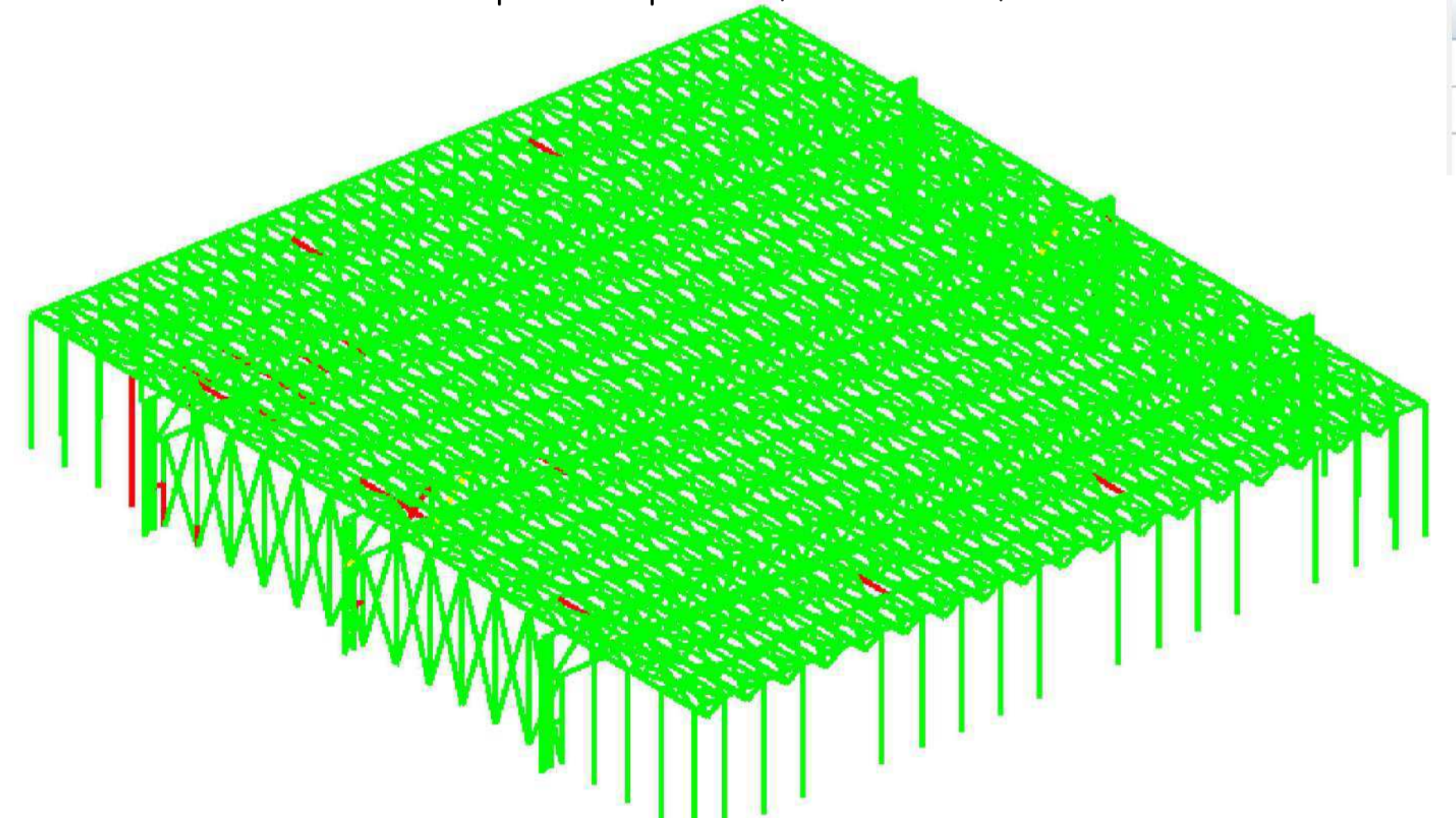
Критический фактор $K_{max}$			
0.13	0.99	6497	
0.99	1.01	4	
1.01	2.27	27	

Схема перемещений при нагрузке от внутреннего взрыва (при втором варианте размещения помещения)

Суммарное перемещение			
	мм	мм	
0	17.93	325	
17.93	35.85	430	
35.85	53.78	269	
53.78	71.71	219	
71.71	89.64	154	
89.64	107.56	151	
107.56	125.49	137	
125.49	143.42	144	
143.42	161.35	140	
161.35	179.27	130	
179.27	197.2	136	
197.2	215.13	119	
215.13	233.06	123	
233.06	250.98	113	
250.98	268.91	125	
268.91	286.84	148	



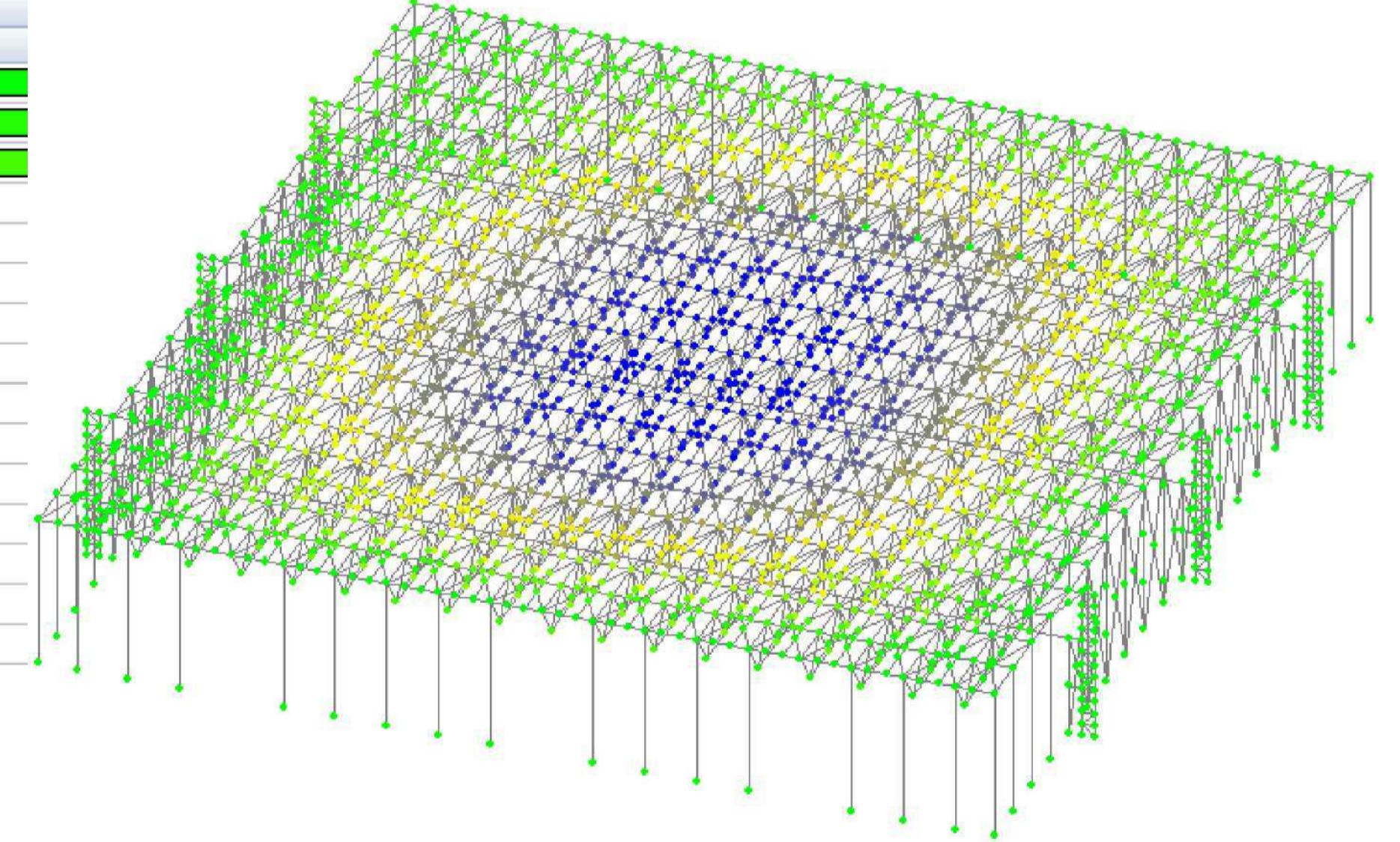
Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от внутреннего взрыва (при третьем варианте размещения помещения)



Критический фактор $K_{max}$			
0.13	0.99	6495	
0.99	1.01	4	
1.01	1.92	29	

Схема перемещений при нагрузке от внутреннего взрыва (при третьем варианте размещения помещения)

Суммарное перемещение			
	мм	мм	
0	18.77	407	
18.77	37.54	296	
37.54	56.32	342	
56.32	75.09	204	
75.09	93.86	166	
93.86	112.63	141	
112.63	131.4	137	
131.4	150.17	144	
150.17	168.95	146	
168.95	187.72	126	
187.72	206.49	124	
206.49	225.26	122	
225.26	244.03	126	
244.03	262.8	108	
262.8	281.58	128	
281.58	300.35	146	



Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения критического фактора)

Номер помещения	Значение критического фактора	Количество элементов
1	0.13-0.99	6499
	0.99-1.01	3
	1.01-28.19	26
2	0.13-0.99	6497
	0.99-1.01	4
	1.01-2.27	27
3	0.13-0.99	6495
	0.99-1.01	4
	1.01-1.92	29

Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения перемещений)

Номер помещения	Значение $m_{ax}$ перемещения до особой нагрузки, мм	Значение $m_{ax}$ перемещения в результате приложения особой нагрузки, мм
1	308,64	307,35
2		286,84
3		300,35

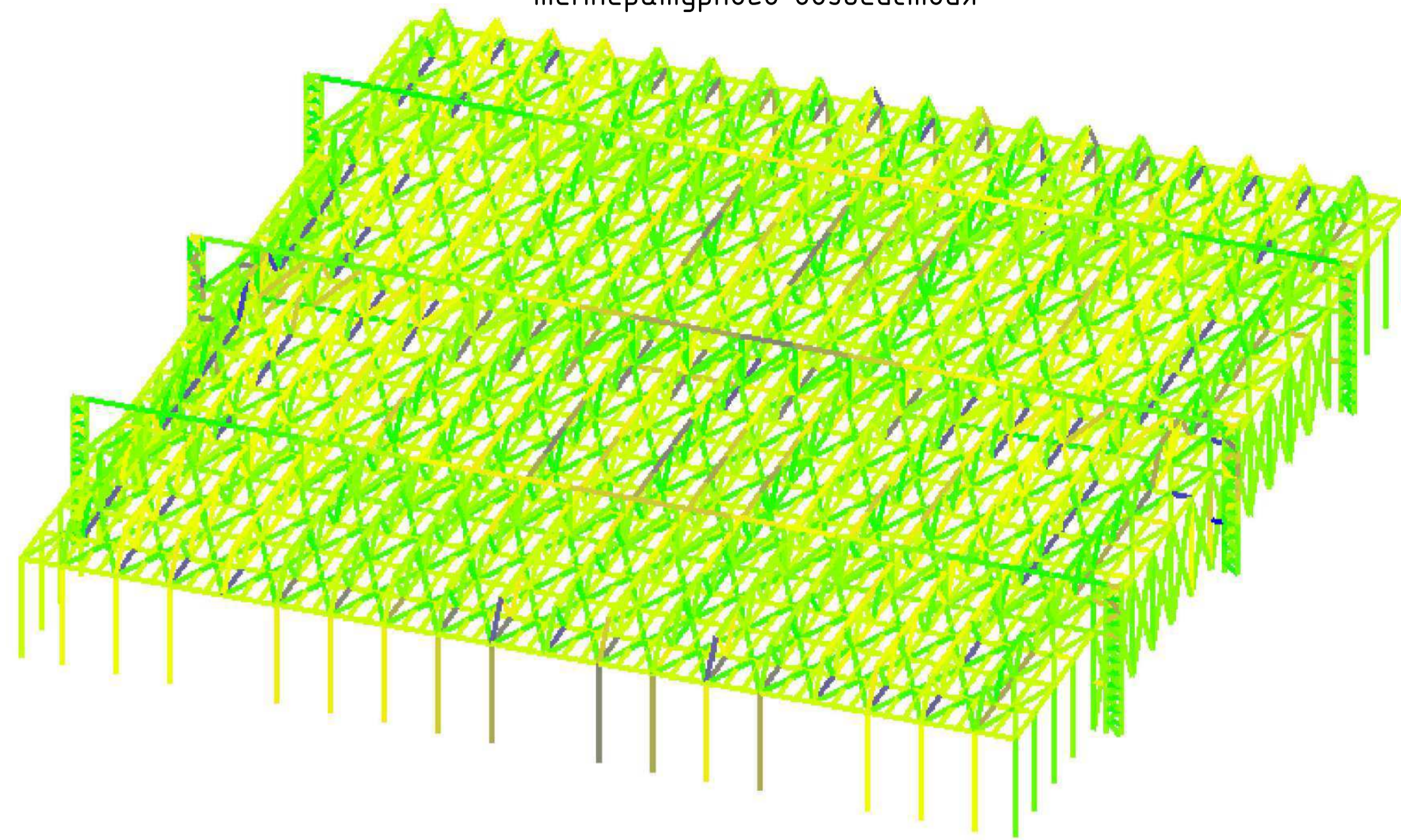
При приложении внутреннего взрывного воздействия на второй вид каркаса назначили три возможных варианта расположения помещений. В итоге наибольшее количество элементов, потерявших несущую способность (33 элемента), возникло при расположении помещения по левой стороне здания у последней рамы (помещение 3). Перемещения по сравнению со схемой без учета особой нагрузки уменьшились до минимального значения 286,84 мм, в помещении 2, расположенном справа в средней части здания. Меньший критический фактор возник при размещении помещения 1. Следовательно, необходимо размещать помещение с хранением авиационного топлива, так, как размещено помещение 1.

Изм.						Лист						Дата						ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"					
Разработал						Левытская А.А.						Инженерно-строительный институт											
Проверил						Фроловская А.В.						Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолётного ангаров относительно кровельных ограждающих конструкций											
Консультант						Фроловская А.В.						4 11											
Н. контр.						Фроловская А.В.						Вариант 2. Критический фактор $K_{max}$ , перемещения при нагрузке от внутреннего взрывного воздействия. Таблицы с результатами											
Зав. кафедрой						Дворниев С.В.						СКУС											

### Вариант 1

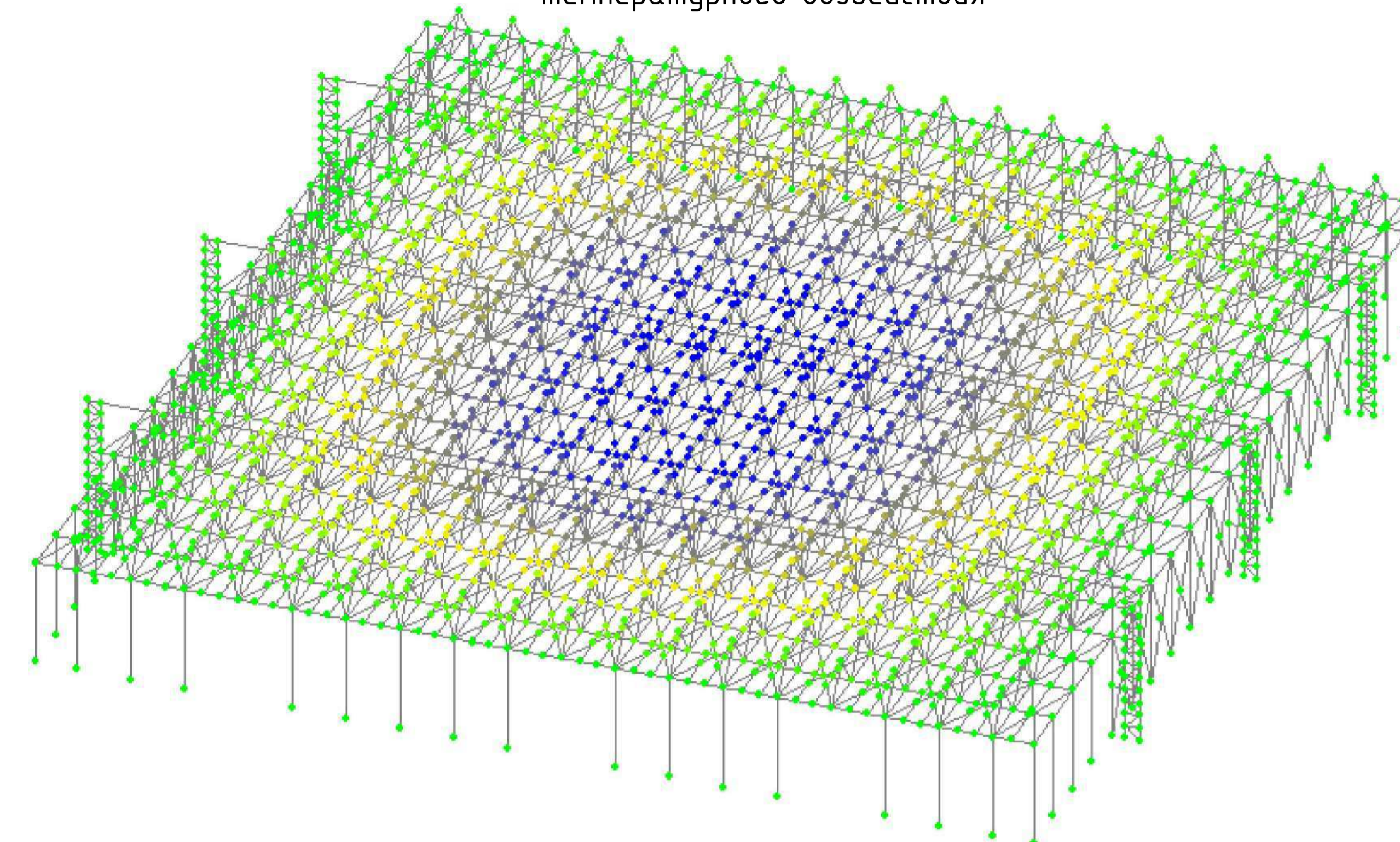
Каркас здания с расположением несущих элементов снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от экстремального температурного воздействия



Критический фактор $K_{max}$			
0.11	0.17	40	
0.17	0.24	163	
0.24	0.3	1111	
0.3	0.36	510	
0.36	0.43	657	
0.43	0.49	266	
0.49	0.55	3099	
0.55	0.62	313	
0.62	0.68	108	
0.68	0.75	57	
0.75	0.81	48	
0.81	0.87	42	
0.87	0.94	61	
0.94	1	4	
1	1.06	0	
1.06	1.13	1	

Перемещения при нагрузке от экстремального температурного воздействия

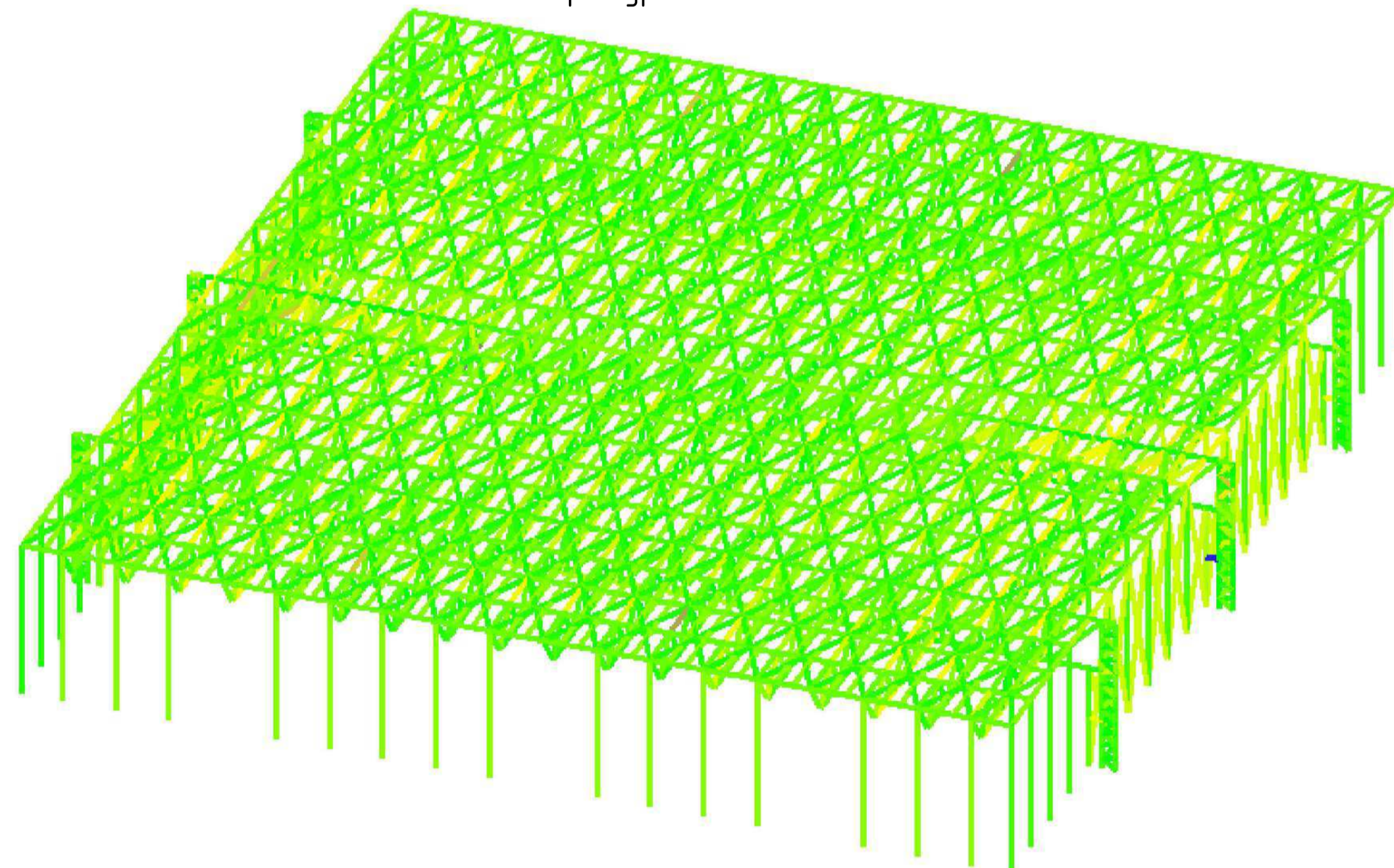


Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	20.03	553	
20.03	40.05	205	
40.05	60.08	221	
60.08	80.11	172	
80.11	100.14	152	
100.14	120.16	137	
120.16	140.19	140	
140.19	160.22	147	
160.22	180.24	151	
180.24	200.27	121	
200.27	220.3	132	
220.3	240.33	124	
240.33	260.35	140	
260.35	280.38	118	
280.38	300.41	129	
300.41	320.44	173	

### Вариант 2

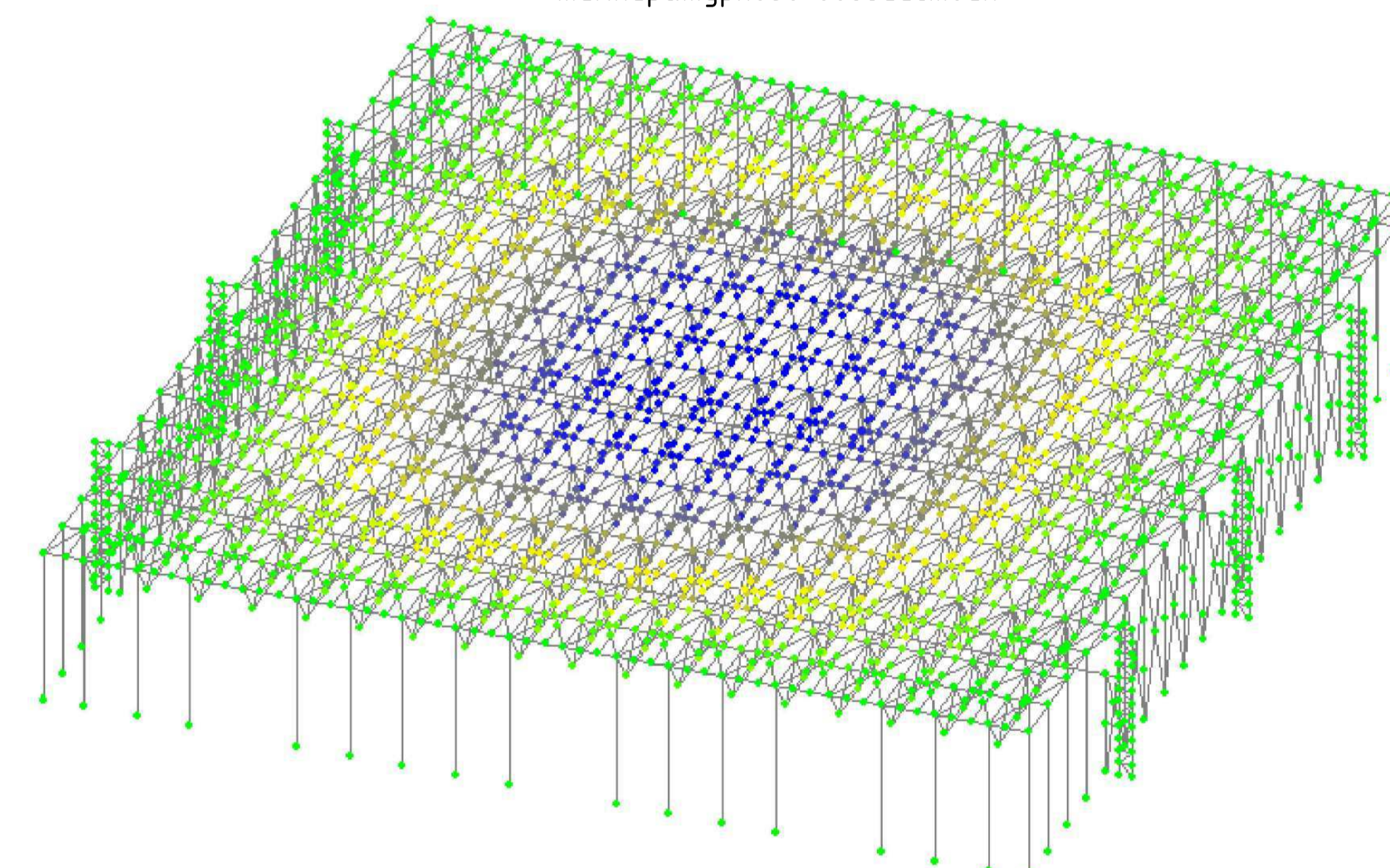
Каркас здания с расположением несущих элементов внутри относительно кровельных ограждающих конструкций

Критический фактор  $K_{max}$  при нагрузке от экстремального температурного воздействия



Критический фактор $K_{max}$			
0.13	0.24	195	
0.24	0.34	1470	
0.34	0.44	710	
0.44	0.55	1538	
0.55	0.65	1802	
0.65	0.76	207	
0.76	0.86	294	
0.86	0.97	196	
0.97	1.07	14	
1.07	1.18	6	
1.18	1.28	2	
1.28	1.39	2	
1.39	1.49	0	
1.49	1.6	0	
1.6	1.7	1	
1.7	1.81	1	

Перемещения при нагрузке от экстремального температурного воздействия



Суммарное перемещение			
мм	мм	мм	
0	19.28	629	
19.28	38.56	229	
38.56	57.84	218	
57.84	77.11	174	
77.11	96.39	156	
96.39	115.67	151	
115.67	134.95	131	
134.95	154.23	147	
154.23	173.51	135	
173.51	192.78	127	
192.78	212.06	129	
212.06	231.34	126	
231.34	250.62	119	
250.62	269.9	112	
269.9	289.18	129	
289.18	308.45	151	

Результаты при загрузке первого варианта здания особой нагрузкой (значения критического фактора)

Наименование загрузки	Значение критического фактора	Количество элементов
Экстремальное температурное воздействие	0.94-1	4
	1.06-1.13	1

Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения перемещений)

Значение $t_{max}$ перемещения до особой нагрузки, мм	Значение $t_{max}$ перемещения в результате приложения особой нагрузки, мм
241,74	320,44

Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения критического фактора)

Наименование загрузки	Значение критического фактора	Количество элементов
Экстремальное температурное воздействие	0.97-1.07	14
	1.07-1.18	6
	1.18-1.28	2
	1.28-1.39	2
	1.6-1.7	1
	1.7-1.81	1

Результаты при загрузке второго варианта здания особой нагрузкой (значения перемещений)

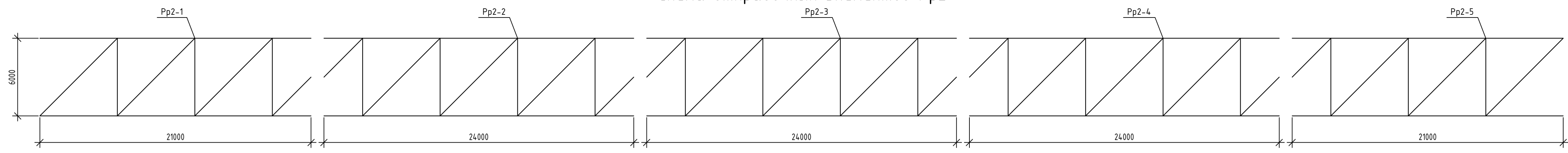
Значение $t_{max}$ перемещения до особой нагрузки, мм	Значение $t_{max}$ перемещения в результате приложения особой нагрузки, мм
308,64	308,45

Так как первый вариант каркаса имеет несущие конструкции снаружи относительно кровельных ограждающих конструкций, перемещения увеличились на 78,7 мм, что составляет 32,5 %. Согласно значениям критического фактора несущую способность потеряет один элемент. При данном особом воздействии значение максимального перемещения равно 320,44 мм, в соответствии с СП 20.13330.2016 допустимый прогиб составляет 370 мм, следовательно, условие удовлетворяется

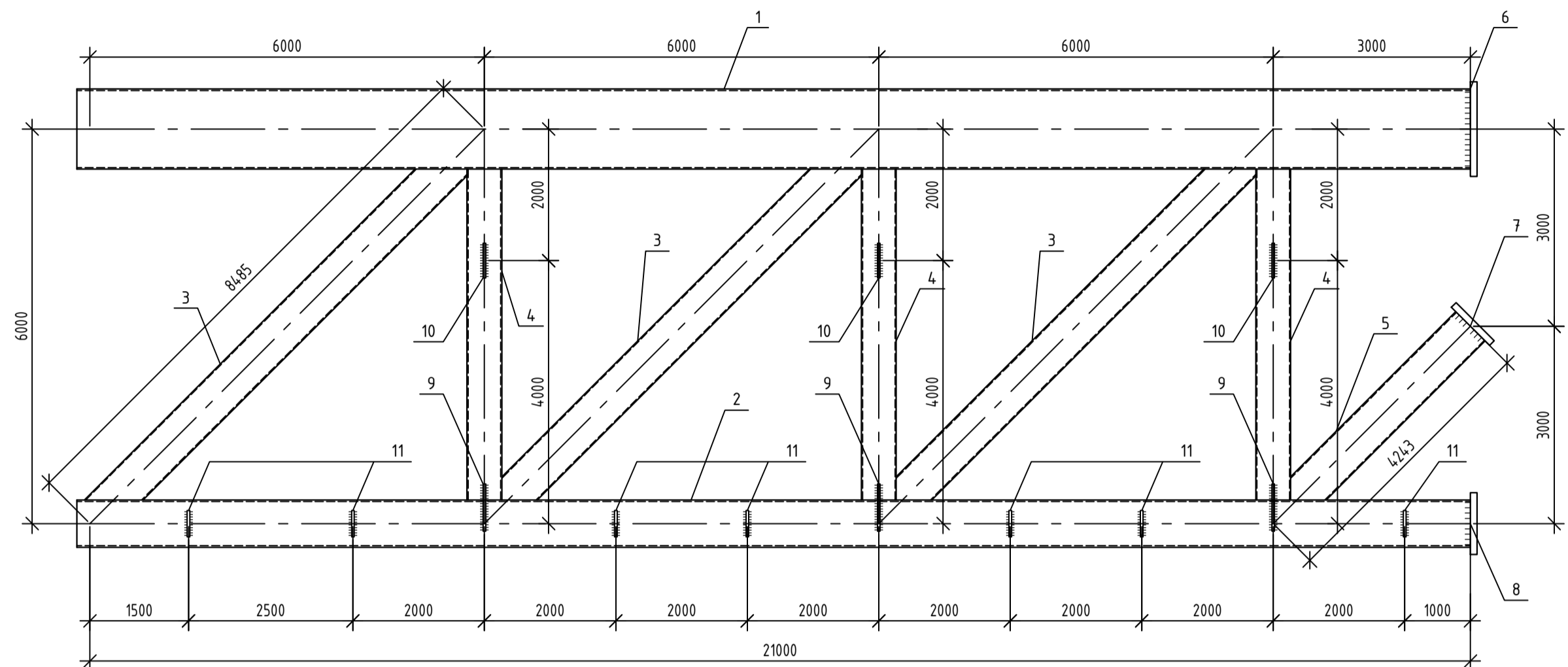
Так как второй вариант каркаса имеет несущие конструкции внутри, относительно кровельных ограждающих конструкций, перемещения практически не изменились, но в соответствии со значениями критического фактора несущую способность теряют 26 элементов.

ДР-08.05.01-2022 ТЧ					
ФГАУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол. уз.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработал	Левытская А.А.				
Проверил	Фроловская А.В.				
Консультант	Фроловская А.В.				
Н. контр.	Фроловская А.В.				
Зав. кафедрой	Дворниев С.В.				
Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертикального анжара относительно кровельных ограждающих конструкций			Стандия	Лист	Листов
Вариант 1. Вариант 2. Критический фактор $K_{max}$ перемещения при нагрузке от экстремального температурного воздействия. Таблицы с результатами			4	12	
СКУС					

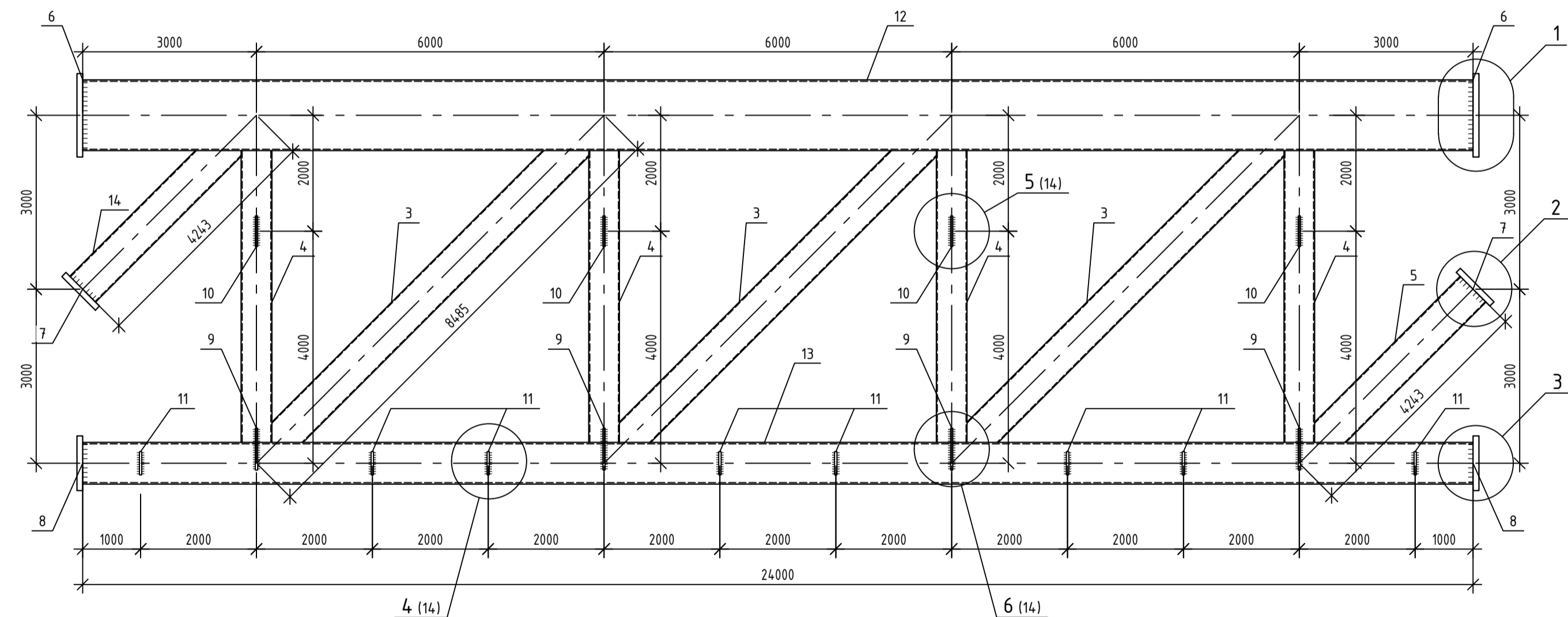
Схема отправочных элементов Рр2



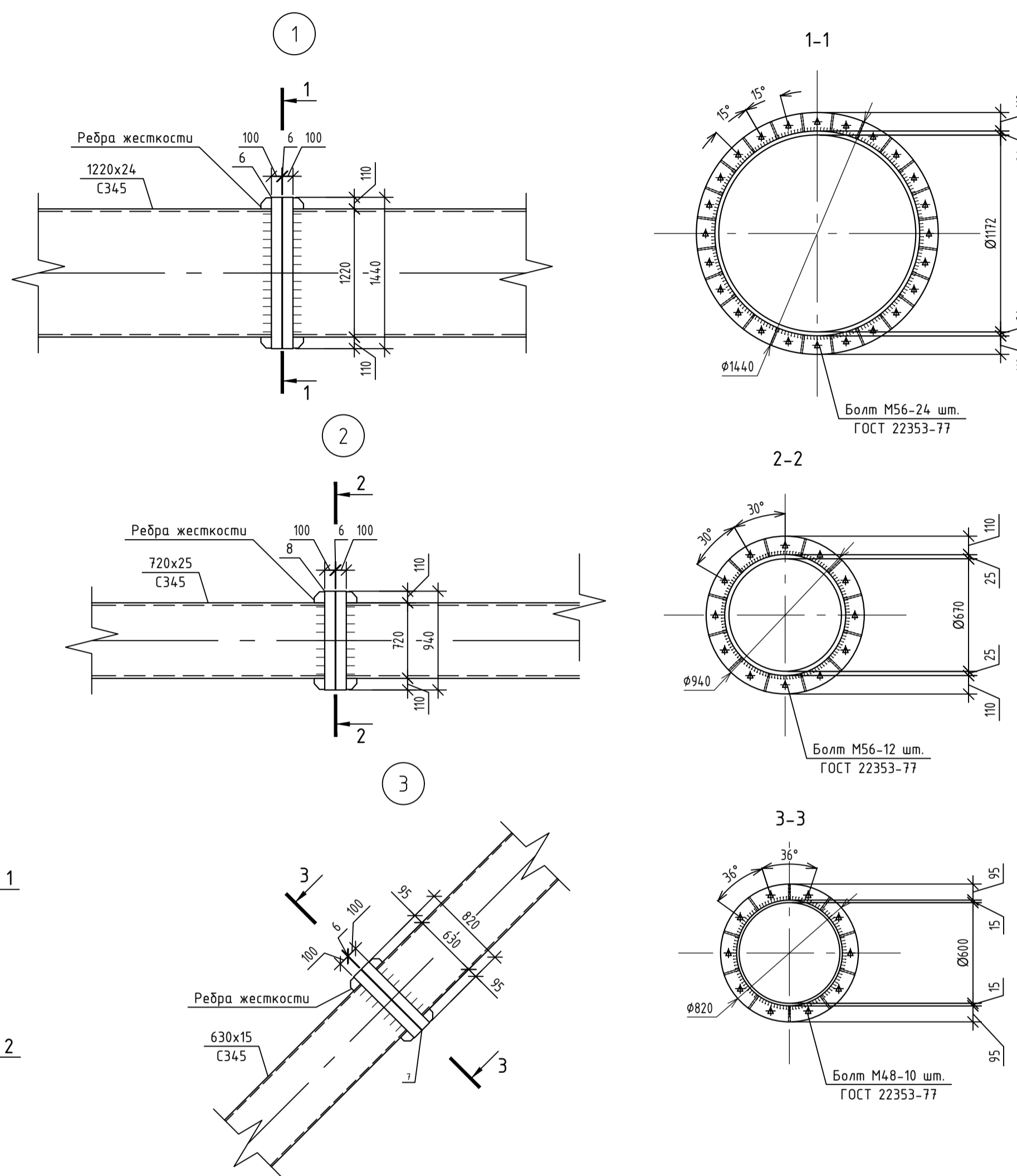
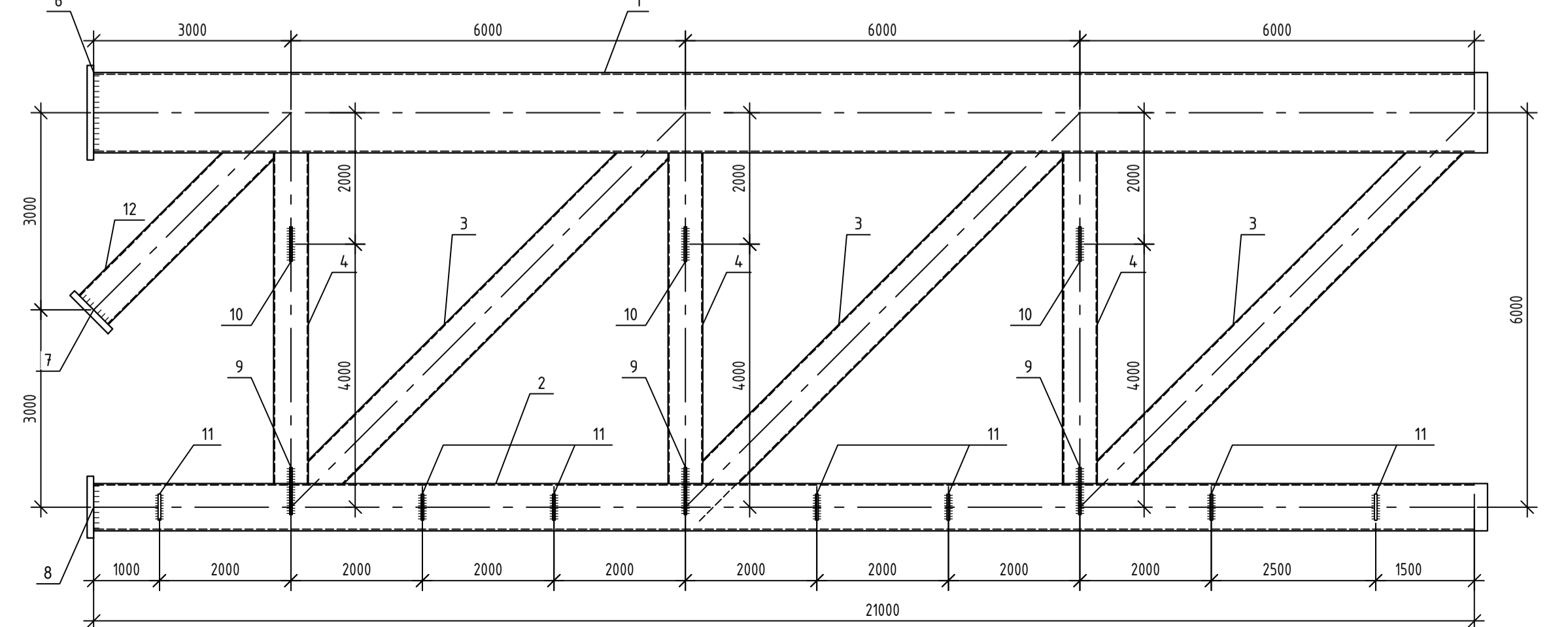
Отправочный элемент Рр2-1



Отправочный элемент Рр2-2



Отправочный элемент Рр2-5



Анализ результатов расчета и их сопоставление (тах перемещения)

Наименование особой нагрузки	Перемещения до особой нагрузки, мм		Перемещения с учетом особой нагрузки, мм/ Соотношение в % с перемещениями до особой нагрузки	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Пожар	241,74	308,64	262,56/8,6	458,46/48,5
Внутреннее взрывное воздействие			227,11/6,1	307,35/0,4
Экстремальное температурное воздействие			320,44/32,6	308,45/0,1

Сопоставив значения критического фактора, количество элементов потерявших несущую способность, а так же полученные при этом перемещения, очевидно, что особая нагрузка, от которой больше всего страдают каркасы- это пожар.

Меньше всего несет ущерб первый вариант каркаса от внутреннего взрывного воздействия, несмотря на то, что несущую способность теряют большее количество элементов, нежели при температурном воздействии. Перемещения здесь равны 221,11 мм, что меньше на 93,33 мм (29,1 %), чем при третьей особой нагрузке.

Для второго варианта каркаса безопаснее всего экстремальное температурное воздействие, где несущую способность теряют 26 элементов, а перемещения по сравнению с перемещениями до особой нагрузки практически не изменились.

Полагаясь на значения, приведенные в таблицах, очевидно, что каркас здания с несущими конструкциями внутри относительно кровельных ограждающих конструкций хуже сопротивляется особым нагрузкам. Основываясь на всех результатах и выводах, в качестве оптимального каркаса для вертолетного ангара выбираем первый вариант каркаса.

Спецификация отправочных элементов Рр2

Марка	Поз.	Кол-во		Профиль	Длина, мм	Масса, кг		Сталь	Примечания
		шт	м			шт.	общ.		
Рр2-1	1	1		Тр. 01220x24	21000	12429	12429	33567	С345
	2	1		Тр. 0720x25	21000	8649	8649		С345
	3	3		Тр. 0630x15	8485	1804	5412		С345
	4	3		Тр. 0530x18	6000	1363	4089		С345
	5	1		Тр. 0630x15	4243	903	903		С345
	6	1		01440x100	110	364	364		С345
	7	1		0940x100	110	251	251		С345
	8	1		0820x100	95	203	203		С345
	9	3		1580x720x20	1580	176	528		С345
	10	3		1170x530x20	1170	97	291		С345
	11	7		1140x400x18	1140	64	448		С345
Рр2-2, Рр2-3, Рр2-4	12	1		Тр. 01220x24	24000	16989	16989	42785	С345
	13	1		Тр. 0720x25	24000	9886	9886		С345
	3	3		Тр. 0630x15	8485	1804	5412		С345
	4	4		Тр. 0530x18	6000	1363	5452		С345
	5	1		Тр. 0630x15	4243	903	903		С345
	6	2		01440x100	110	364	728		С345
	7	2		0940x100	110	251	502		С345
	8	2		0820x100	95	203	406		С345
	9	4		1580x720x20	1580	176	704		С345
	10	4		1170x530x20	1170	97	388		С345
	11	8		1140x400x18	1780	64	512		С345
14	1		Тр. 0630x15	4243	903	903	С345		
Рр2-5	1	1		Тр. 01220x24	21000	12429	12429	33567	С345
	2	1		Тр. 0720x25	21000	8649	8649		С345
	3	3		Тр. 0630x15	8485	1804	5412		С345
	4	3		Тр. 0530x18	6000	1363	4089		С345
	6	1		01440x100	110	364	364		С345
	7	1		0940x100	110	251	251		С345
	8	1		0820x100	95	203	203		С345
	9	3		1580x720x20	1580	176	528		С345
	10	3		1170x530x20	1170	97	291		С345
	11	7		1140x400x18	1780	64	448		С345
	14	1		Тр. 0630x15	4243	903	903		С345

Ведомость отправочных элементов Рр2

Марка элемента	Количество, шт.	Масса, кг	
		Одного элемента	Всех
Рр2-1	1	33567	33567
Рр2-2	1	42785	42785
Рр2-3	1	42785	42785
Рр2-4	1	42785	42785
Рр2-5	1	33567	33567
Общая масса			195489

Анализ результатов расчета и их сопоставление Ктах

Наименование особой нагрузки	Значение Ктах		Количество элементов	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Пожар	0,11-0,9	0,11-0,9	6352	6352
	0,9-1,1	0,9-1,1	22	133
	1,1-2,84	1,1-31,09	25	289
Внутреннее взрывное воздействие	0,11-0,9	0,13-0,99	6476	6499
	0,9-1,01	0,99-1,01	0	3
Экстремальное температурное воздействие	1,01-1,6	1,01-28,19	4	26
	0,94-1	0,97-1,07	4	14
	1,06-1,13	1,07-1,18	1	6
	-	1,18-1,28	-	2
	-	1,28-1,39	-	2
-	1,6-1,7	-	1	
-	1,7-1,81	-	1	

- См. совместно с листом 14.
- Материалы конструкций сталь С345.
- Сварка механизированная, порошковой проволокой СВ-10Г2, электрод - 360.
- Высоту катета сварного шва принимать по наименьшей толщине свариваемых деталей.
- Болты крепления фланцев поз. 6, фланцев поз. 8 - М56 класса точности А.
- Болты крепления фланцев поз. 7 - М48 класса точности А.

ДР-08.05.01-2022 КМД

Изм. Кол. уст. Лист № док. Подп. Дата				ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет" Инженерно-строительный институт		
Разработал	Фроловская А.В.	Лист	13	Статус	Лист	13
Проверил	Фроловская А.В.	Оптимальное расположение несущих элементов каркаса вертолетного ангара относительно кровельных ограждающих конструкций		СКУС		
Консультант	Фроловская А.В.	Отправочный элемент Рр2, схема отправочных элементов Рр2, узел 1-3.		Анализ и сопоставление результатов		
Н. контр.	Фроловская А.В.					
Заб. кафедрой	Дворниев С.В.					



## Выводы по работе

- при расчете двух вариантов каркасов на основные виды нагрузок и при подборе сечений в ПК SCAD выяснено, что на каркас с несущими конструкциями снаружи относительно ограждающих конструкций кровли преимущественно подбираются большие сечения, нежели на второй вариант каркаса;
- в вертолетном ангаре с первым вариантом каркаса возникают перемещения, которые меньше, чем во втором ангаре на 27,8 %;
- расчет на особые виды нагрузок, а именно пожар, внутреннее взрывное воздействие, экстремальное температурное воздействие, показал, что опаснее всего для двух вариантов ангара – пожар;
- для каркаса с несущими конструкциями внутри относительно кровельных ограждающих конструкций перемещения при пожаре больше на 74,6 %, чем перемещения при той же нагрузке в первом варианте каркаса, и составляют 458,46 мм. Такое значение перемещения недопустимо (максимально допустимое перемещение для данного ангара пролетом 111 м по СП 20.13330.2016 составляют 370 мм);
- так же во втором каркасе при выходе из строя конструкций, которые подвергаются воздействию пожара, происходит последовательное обрушение большого количества элементов покрытия;
- численное исследование на внутреннее взрывное воздействие выявило, что перемещения у второго ангара больше, чем у первого на 35,3 %;
- при температурном воздействии у второго варианта перемещения меньше, чем у варианта 1 на 3,7 %
- основываясь на численных исследованиях, проведенных в ПК SCAD, очевидно, что не только с точки зрения безопасности и надежности, но и с позиции эстетической привлекательности, каркас с несущими конструкциями снаружи относительно ограждающих конструкций кровли является оптимальным;
- для выбранного каркаса ангара разработаны конструктивные и узловые решения для основных несущих конструкций.