

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРХИТЕКТУРЫ И  
СТРОИТЕЛЬСТВА»

Инженерно-строительный институт  
Кафедра «Строительные конструкции»

## **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине «Теоретические основы работы металлических и деревянных конструкций»  
на тему:  
«Проектирование и моделирование металлического каркаса промышленного здания»

Автор проекта: Родионова А. С.

Группа: 22СТ1м

Обозначение: КП-2069059-08.04.01-220937-23.

Направление: 08.04.01 «Строительство»

Руководитель проекта: к.т.н. доц. Аriskин М. В.

Проект защищен \_\_\_\_\_

Пенза 2023

## Содержание

1. Общие данные .....	3
1.1 Сбор нагрузок .....	3
2. Краткая характеристика методики расчета .....	3
2.1. Системы координат.....	4
2.2. Тип схемы .....	5
2.3. Выбранный режим статического расчета .....	5
2.4. Условия примыкания элементов к узлам .....	5
2.5. Характеристики использованных типов конечных элементов .....	5
3. Правило знаков для перемещений.....	6
3.1. Усилия и напряжения .....	6
3.2. Правило знаков для усилий (напряжений) .....	6
4. Нагрузки, действующие на схему .....	8
5. Расчётные сочетания нагрузок.....	12
6. Расчёт.....	17
7. Результаты расчёта.....	19
7.1. Перемещения схемы .....	19
7.2. Результаты расчёта узлов .....	21
Список использованных источников .....	30

## 1. Общие данные

Расчет выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD.

Комплекс реализует конечно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку устойчивости, выбор невыгодных сочетаний усилий, подбор арматуры железобетонных конструкций, проверку несущей способности стальных конструкций. В представленной ниже пояснительной записке описаны лишь фактически использованные при расчетах названного объекта возможности комплекса SCAD.

Здание прямоугольное в плане с размерами 30×36 м.

### 1.1 Сбор нагрузок

- Собственный вес конструкций покрытия: 200 кг/м<sup>2</sup>;
- Снеговая нагрузка: 150 кг/м<sup>2</sup>;
- Нагрузка от пола: 200 кг/м<sup>2</sup>;
- Полезная нагрузка: 300 кг/м<sup>2</sup>;
- Ветровая нагрузка: 600 кг/м.

## 2. Краткая характеристика методики расчета

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим, идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами, присоединенных к узлам.

Тип конечного элемента определяется его геометрической формой, правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, физическим законом, определяющим зависимость между внутренними усилиями и внутренними перемещениями, и набором параметров (жесткостей), входящих в описание этого закона и др.

Узел в расчетной схеме метода перемещений представляется в виде абсолютно жесткого тела исчезающе малых размеров. Положение узла в пространстве при деформациях системы определяется координатами центра и углами поворота трех осей, жестко связанных с узлом. Узел представлен как объект, обладающий шестью степенями свободы – тремя линейными смещениями и тремя углами поворота.

Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, следует трактовать только как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки.

Основная система метода перемещений выбирается путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих любые узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей – основные неизвестные метода перемещений.

В общем случае в пространственных конструкциях в узле могут присутствовать все шесть перемещений:

- 1 – линейное перемещение вдоль оси  $X$ ;
- 2 – линейное перемещение вдоль оси  $Y$ ;
- 3 – линейное перемещение вдоль оси  $Z$ ;
- 4 – угол поворота с вектором вдоль оси  $X$  (поворот вокруг оси  $X$ );
- 5 – угол поворота с вектором вдоль оси  $Y$  (поворот вокруг оси  $Y$ );
- 6 – угол поворота с вектором вдоль оси  $Z$  (поворот вокруг оси  $Z$ ).

Нумерация перемещений в узле (степеней свободы), представленная выше, используется далее всюду без специальных оговорок, а также используются соответственно обозначения  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $UX$ ,  $UY$  и  $UZ$  для обозначения величин соответствующих линейных перемещений и углов поворота.

В соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма поля перемещений внутри элемента (за исключением элементов стержневого типа) приближенно представлена различными упрощенными зависимостями. При этом погрешность в определении напряжений и деформаций имеет порядок  $(h/L)k$ , где  $h$  — максимальный шаг сетки;  $L$  — характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени  $k$ , который имеет разное значение для перемещений и различных компонент внутренних усилий (напряжений).

## 2.1. Системы координат

Для задания данных о расчетной схеме могут быть использованы различные системы координат, которые в дальнейшем преобразуются в декартовы. В дальнейшем для описания расчетной схемы используются следующие декартовы системы координат:

- глобальная правосторонняя система координат  $XYZ$ , связанная с расчетной схемой;
- локальные правосторонние системы координат, связанные с каждым конечным элементом.

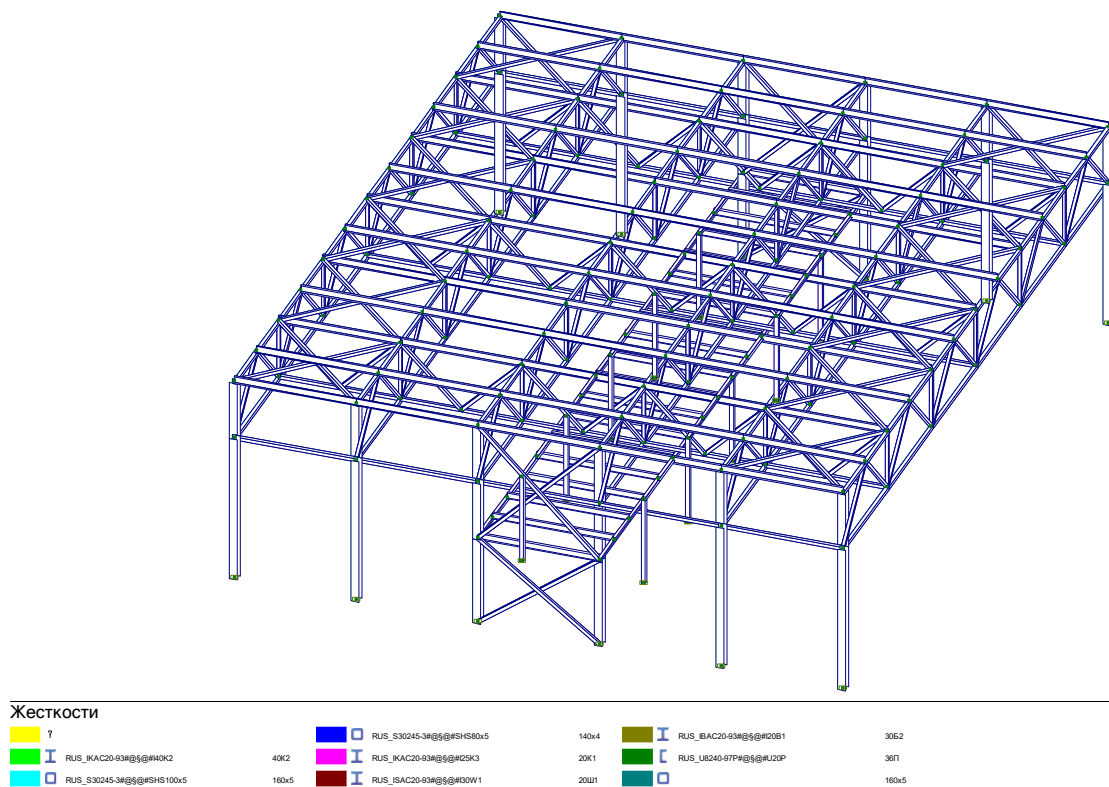


Рис. 2.1. Общий вид расчётной схемы.

## 2.2. Тип схемы

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и поворотами вокруг этих осей.

### 2.3. Выбранный режим статического расчета

Статический расчет системы выполнен в линейной постановке.

## 2.4. Условия примыкания элементов к узлам

Точки примыкания конечного элемента к узлам (концевые сечения элементов) имеют одинаковые перемещения с указанными узлами.

## 2.5. Характеристики использованных типов конечных элементов

В расчетную схему включены конечные элементы следующих типов.

Стержневые конечные элементы, для которых предусмотрена работа по обычным правилам сопротивления материалов. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой ось  $X_1$  ориентирована вдоль стержня, а оси  $Y_1$  и  $Z_1$  – вдоль главных осей инерции поперечного сечения.

К стержневым конечным элементам рассматриваемой расчетной схемы относятся следующие типы элементов:

Элемент типа 5, который работает по пространственной схеме и воспринимает продольную силу  $N$ , изгибающие моменты  $M_y$  и  $M_z$ , поперечные силы  $Q_z$  и  $Q_y$ , а также крутящий момент  $M_k$ .

Конечные элементы оболочек, геометрическая форма которых на малом участке элемента является плоской (она образуют многогранник, вписанный в

действительную криволинейную форму срединной поверхности оболочки). Для этих элементов, в соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма перемещений внутри элемента приближенно представлена упрощенными зависимостями. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой оси  $X_1$  и  $Y_1$  расположены в плоскости элемента и ось  $Z_1$  направлена от первого узла ко второму, а ось  $Z_1$  ортогональна поверхности элемента.

Четырехугольный элемент типа 44, который имеет четыре узловые точки, не является совместным и моделирует поле нормальных перемещений внутри элемента полиномом 3 степени, а поле тангенциальных перемещений неполным полиномом 2 степени. Располагается в пространстве произвольным образом.

### **3. Правило знаков для перемещений**

Правило знаков для перемещений принято таким, что линейные перемещения положительны, если они направлены в сторону возрастания соответствующей координаты, а углы поворота положительны, если они соответствуют правилу правого винта (при взгляде от конца соответствующей оси к ее началу движение происходит против часовой стрелки).

#### **3.1. Усилия и напряжения**

Вычисленные значения усилий и напряжений в элементах от загрузений представлены в таблице результатов расчета «Усилия/напряжения элементов».

Для стержневых элементов усилия по умолчанию выводятся в концевых сечениях упругой части (начальном и конечном) и в центре упругой части, а при наличии запроса пользователя и в промежуточных сечениях по длине упругой части стержня. Для пластинчатых, объемных, осесимметричных и оболочечных элементов напряжения выводятся в центре тяжести элемента и при наличии запроса пользователя в узлах элемента.

#### **3.2. Правило знаков для усилий (напряжений)**

Правила знаков для усилий (напряжений) приняты следующими:

Для стержневых элементов возможно наличие следующих усилий:

$N$  – продольная сила;

$M_k$  – крутящий момент;

$M_y$  – изгибающий момент с вектором вдоль оси  $Y_1$ ;

$Q_z$  – перерезывающая сила в направлении оси  $Z_1$  соответствующая моменту  $M_y$ ;

$M_z$  – изгибающий момент относительно оси  $Z_1$ ;

$Q_y$  – перерезывающая сила в направлении оси  $Y_1$  соответствующая моменту  $M_z$ ;

$R_z$  – отпор упругого основания.

Положительные направления усилий в стержнях приняты следующими:

для перерезывающих сил  $Q_z$  и  $Q_y$  – по направлениям соответствующих осей  $Z_1$  и  $Y_1$ ;

для моментов  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  – против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$ ;

положительная продольная сила  $N$  всегда растягивает стержень.

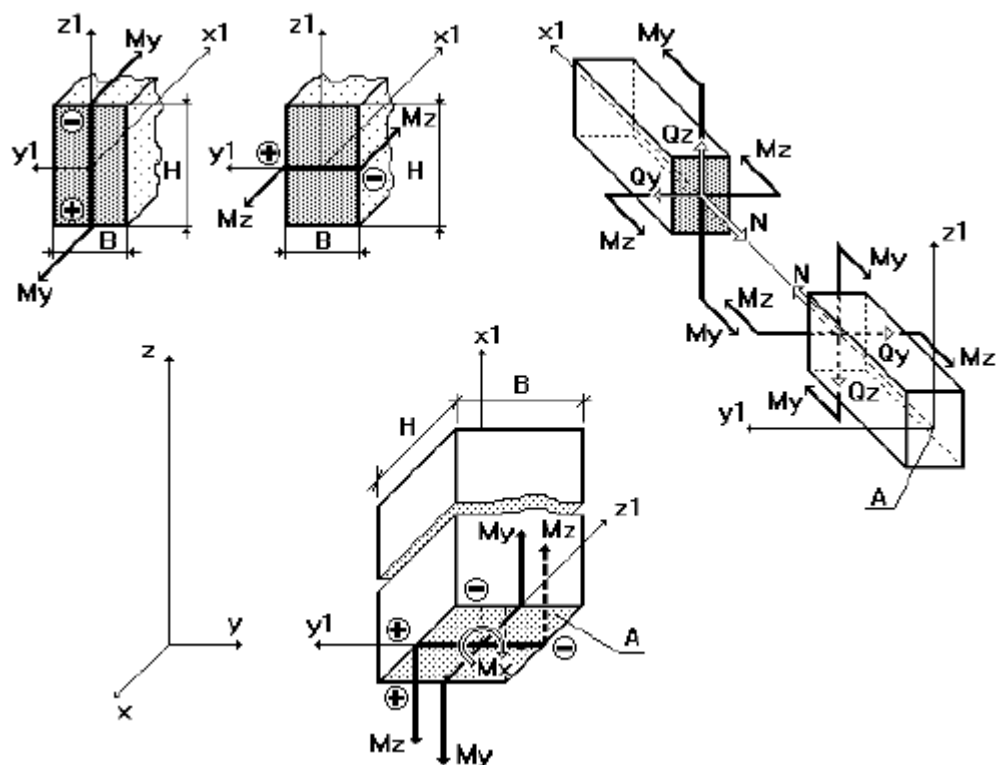


Рис. 3.2. Положительные направления внутренних усилий.

На рис. 3.2 показаны положительные направления внутренних усилий и моментов в сечении горизонтальных и наклонных (а), а также вертикальных (б) стержней.

Знаком «+» (плюс) помечены растянутые, а знаком «-» (минус) – сжатые волокна поперечного сечения от воздействия положительных моментов  $M_y$  и  $M_z$ .

#### 4. Нагрузки, действующие на схему

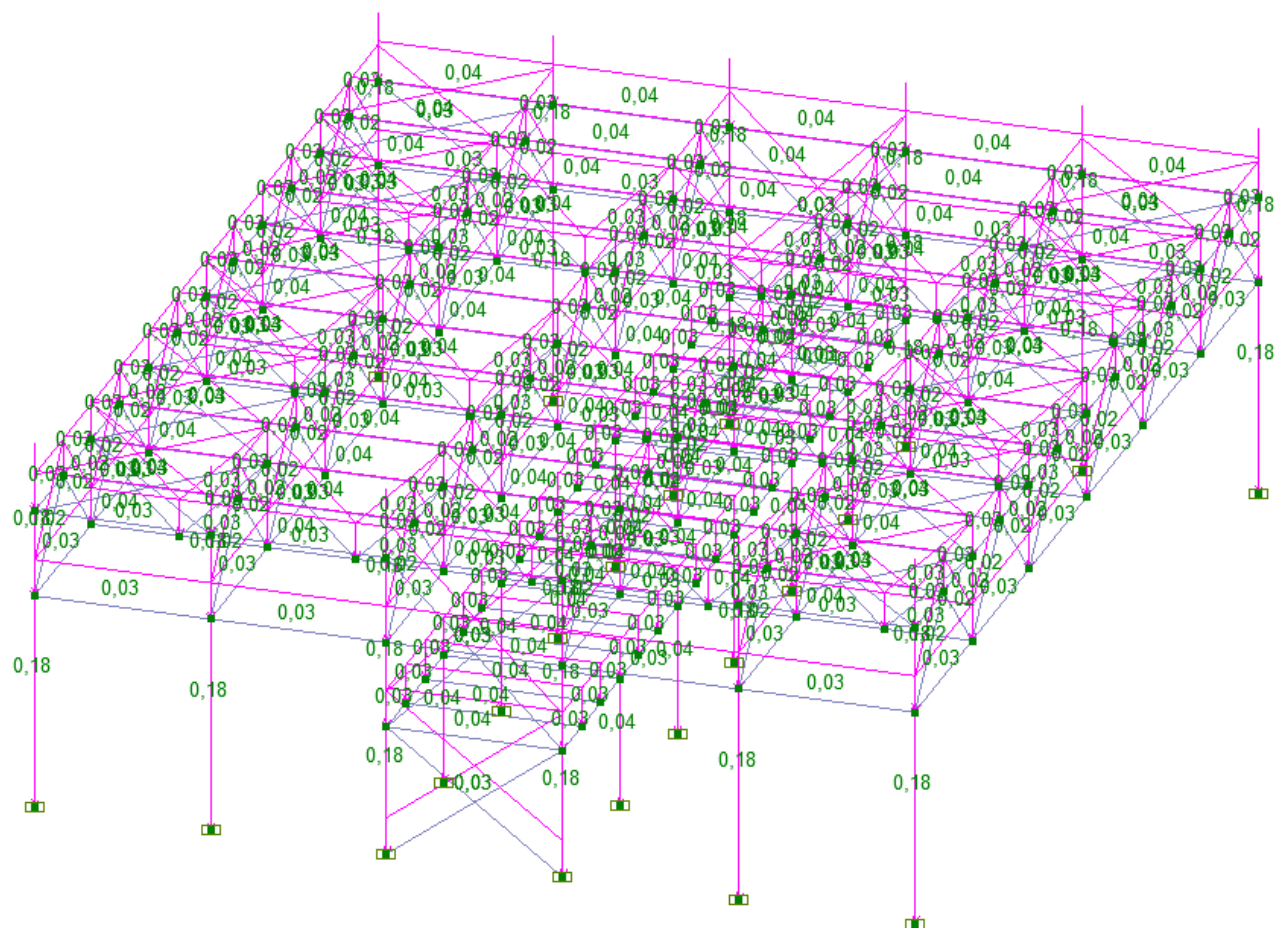


Рис. 4.1. Нагрузка от собственного веса.



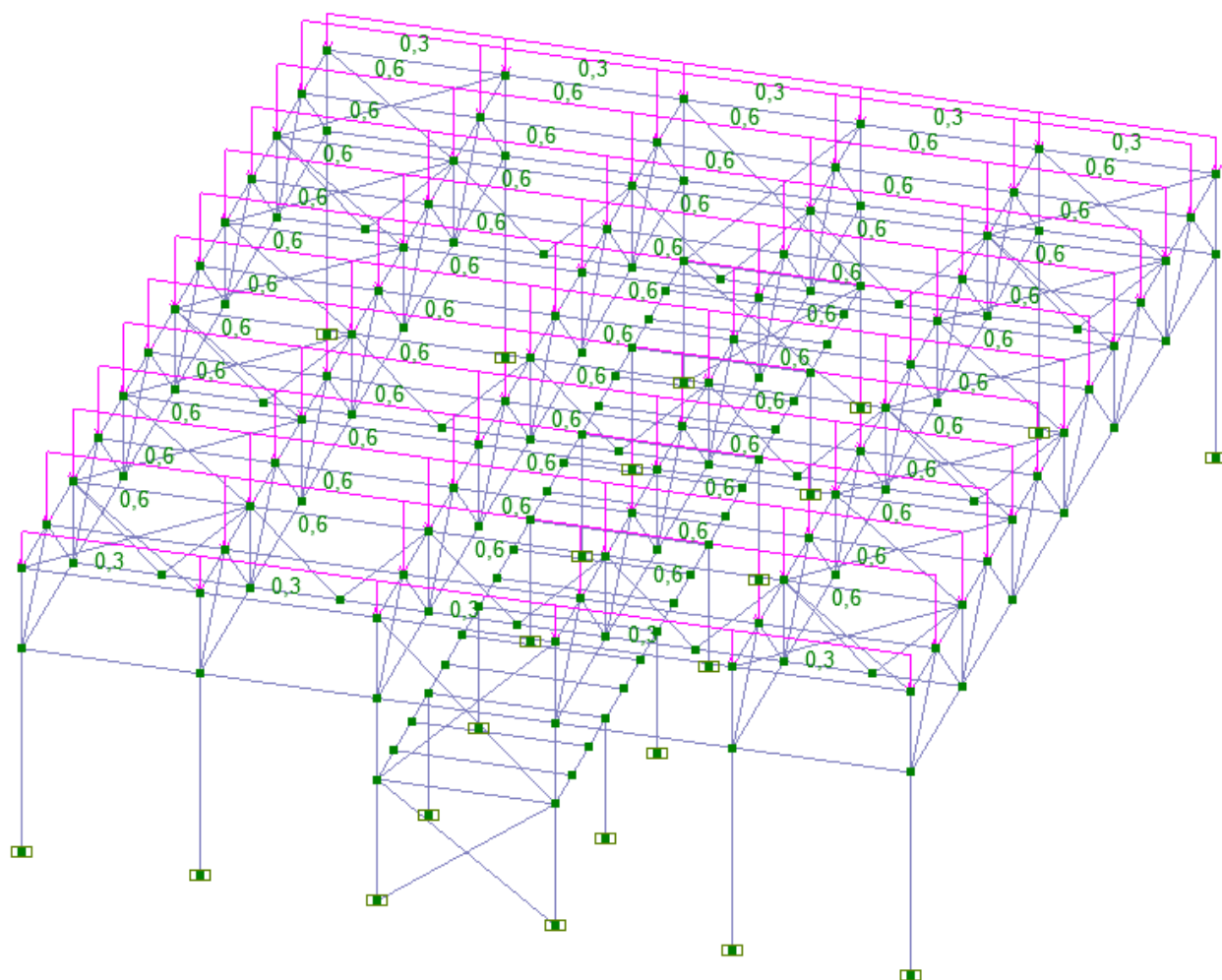


Рис. 4.2. Нагрузка от кровли.

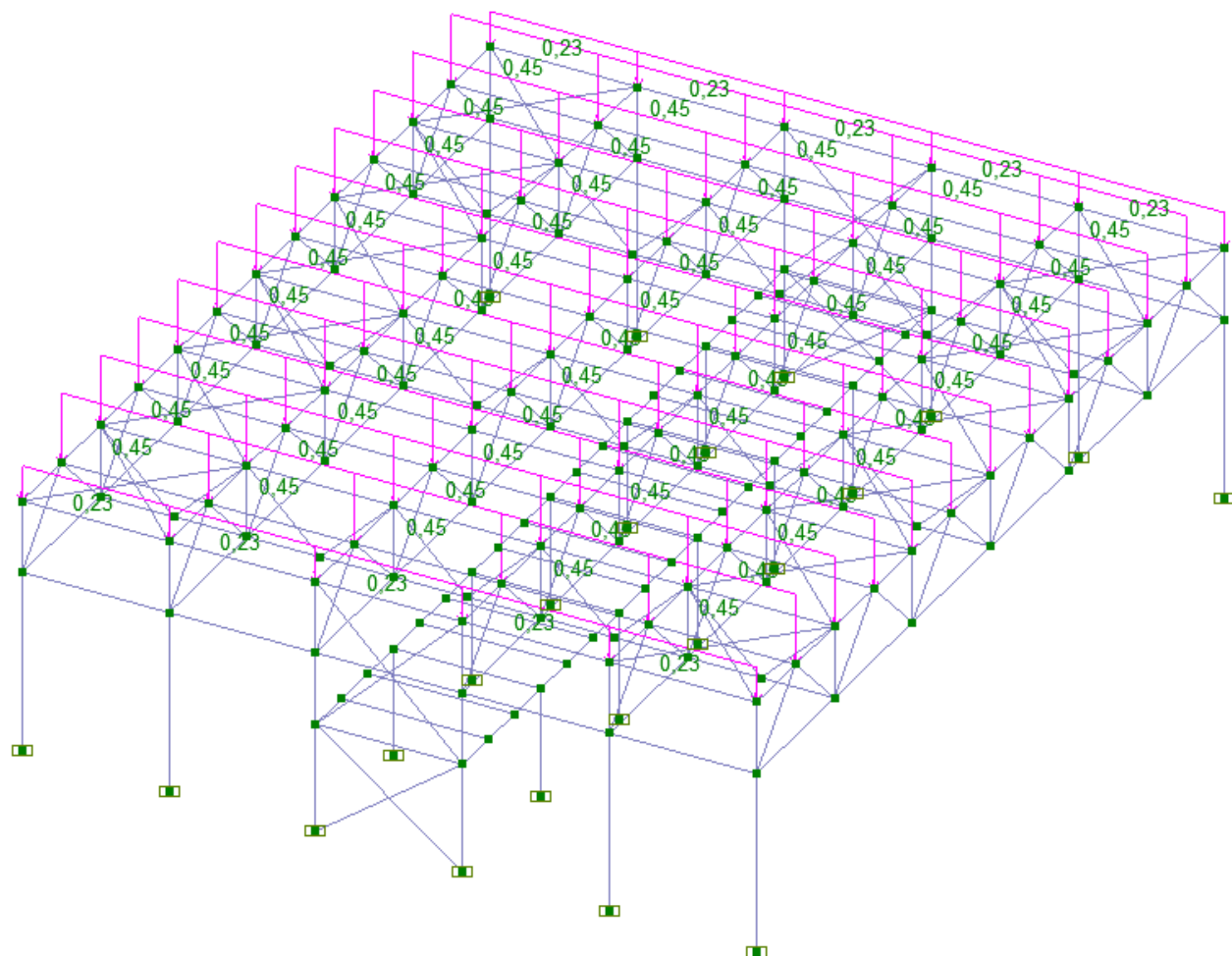


Рис. 4.3. Нагрузка от снега.

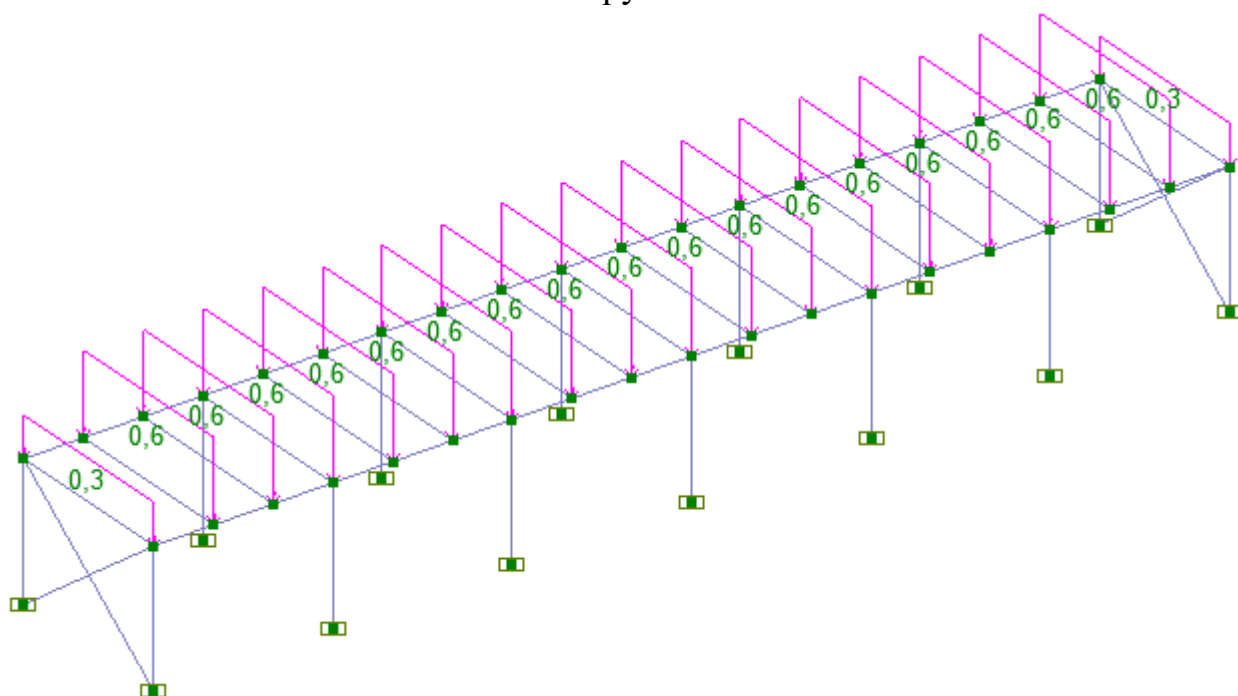


Рис. 4.4. Полезная нагрузка.

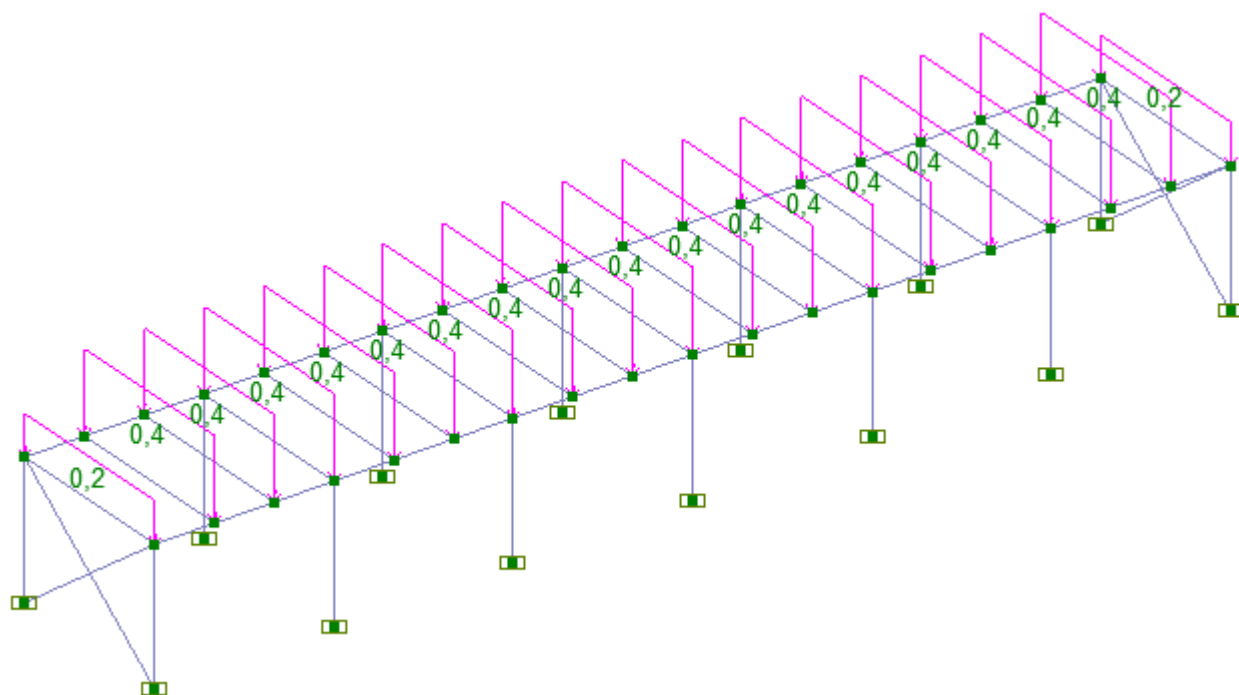


Рис. 4.5. Нагрузка от пола.

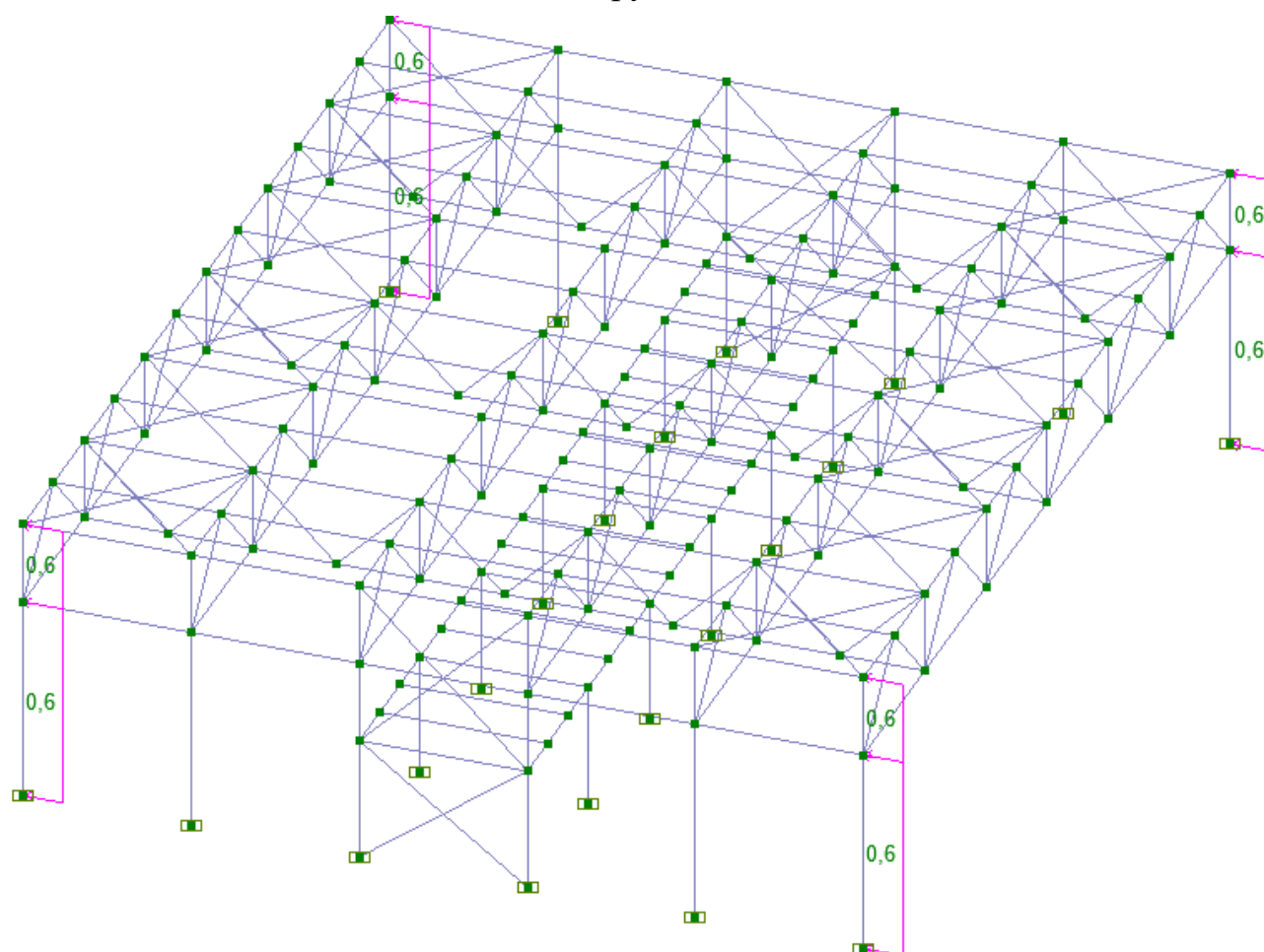


Рис. 4.6. Ветровая нагрузка.

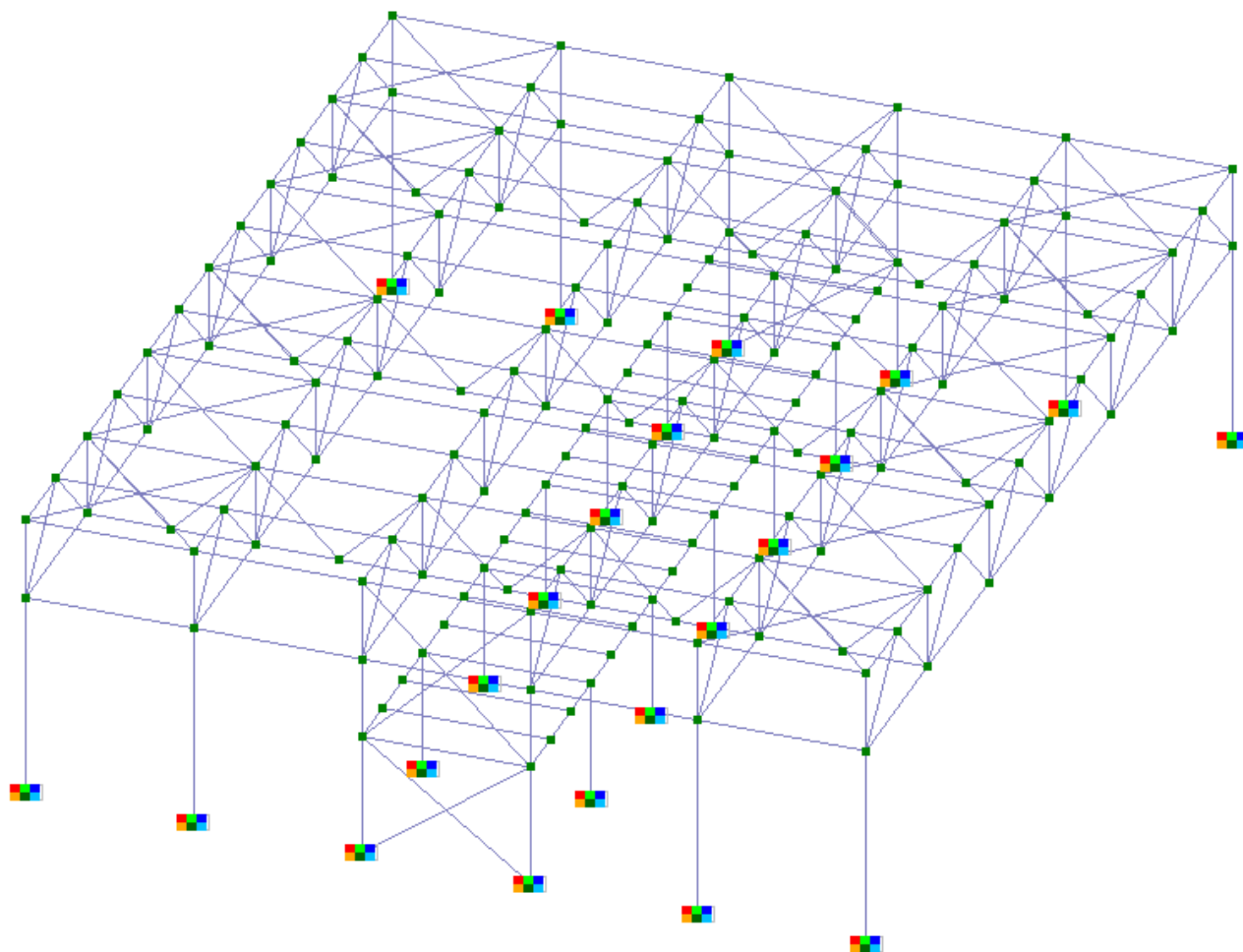


Рис. 4.7. Связи.

## 5. Расчётные сочетания нагрузок

Расчетные сочетания усилий и перемещений

Загрузки										Козф. надежности	Доля длительности
Активное загрузе	Активное загрузе в РСР	Наименование	Тип загрузки	Вид нагрузки	Знакопременны е	Участвуют в групповых операциях	Объедин ения	Взаимоисключени	Сопутствия		
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
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Кровля	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,2	1
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Снег	Кратковременн	Полные снегов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	1,4
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Полезная	Кратковременн	Полные нагрузки	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,3	0,35
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Полы	Постоянные на	Вес бетонных (	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,1	1
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ветер X	Кратковременн	Ветровые нагр	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,4	1,4
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L1+L2+L3+L4+L5+	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	L1+L2+L3+L4+L5	Постоянные на	Другие	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	1

Деактивировать загрузе | Дерево РСР | Загрузки   не могут входить в сочетания без загрузе   | Удаление РСР

Шаг ориентации площадок при анализе пластин: 15 град

Параметры: Список элементов Унификация Группы

Связи загрузе: Объединение Сопутствие Взаимоисключение Краны

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

2016   
 OK Отмена Справка

Рис. 5.1. Таблица РСУ.

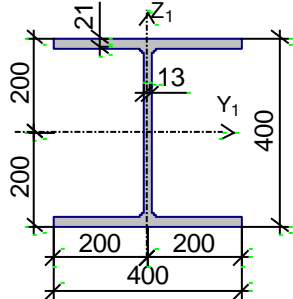
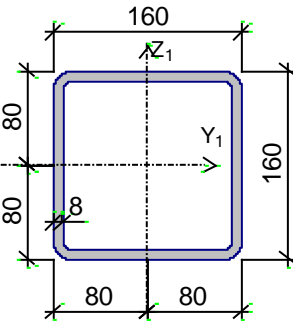
## Жёсткости элементов схемы

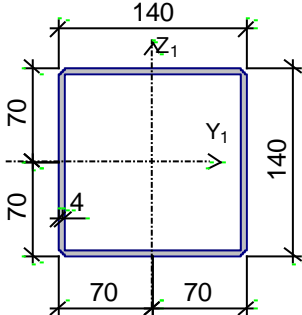
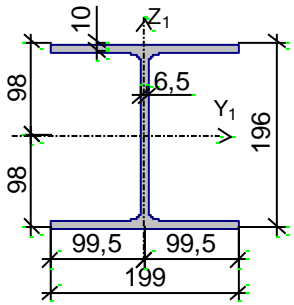
Единицы измерения:

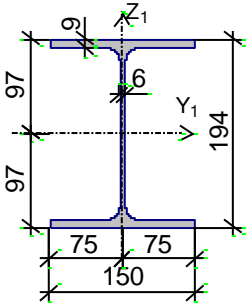
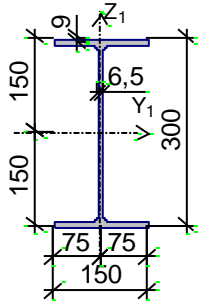
- Линейные размеры: м
- Размеры сечений: мм
- Силы: Т

Толщина пластин представлена в единицах измерения линейных размеров.

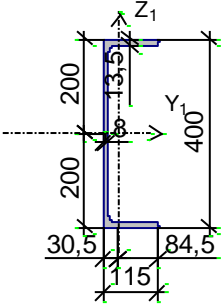
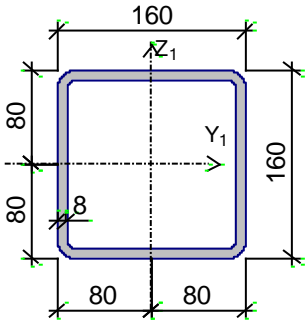
Таблица 5.2.

ЖЕСТИКОСТИ		
Тип	Жесткость	Изображение
1	<p>Имя типа жесткости: RUS_IKAC20-93#@\$\$@#I40K2  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: СТО АСЧМ 20-93  Семейство: Двутавр колонный (К) по СТО АСЧМ 20-93  Профиль: 40К2</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 459207,01 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_Y = 13990,83 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_Z = 4706,52 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_Y = 77444,63 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_Z = 146946,23 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{кр} = 22,68 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) <math>a_{U+} = 5,12 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) <math>a_{U-} = 5,12 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) <math>a_{V+} = 15,23 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) <math>a_{V-} = 15,23 \text{ см}</math></p>	
2	<p>Имя типа жесткости: RUS_S30245-3#@\$\$@#SHS100x5  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ..  Семейство: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003  Профиль: 160x8</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 97524 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_Y = 365,4 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_Z = 365,4 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_Y = 16854,24 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_Z = 16854,24 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{кр} = 235,99 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) <math>a_{U+} = 4,68 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) <math>a_{U-} = 4,68 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) <math>a_{V+} = 4,68 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) <math>a_{V-} = 4,68 \text{ см}</math></p>	

	$Z(V) a_{v-} = 4,68 \text{ см}$	
3	<p>Имя типа жесткости: RUS_S30245-3#@\$@#SHS80x5  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ..  Семейство: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003  Профиль: 140x4</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 44835 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_Y = 136,82 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_Z = 136,82 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_Y = 7887,86 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_Z = 7887,86 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{кр} = 84,52 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) <math>a_{u+} = 4,36 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) <math>a_{u-} = 4,36 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) <math>a_{v+} = 4,36 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) <math>a_{v-} = 4,36 \text{ см}</math></p>	
4	<p>Имя типа жесткости: RUS_IKAC20-93#@\$@#I25K3  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: СТО АСЧМ 20-93  Семейство: Двутавр колонный (К) по СТО АСЧМ 20-93  Профиль: 20К1</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 110649 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_Y = 807,66 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_Z = 281,69 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_Y = 23531,18 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_Z = 9850,47 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{кр} = 1,49 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) <math>a_{u+} = 2,56 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) <math>a_{u-} = 2,56 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) <math>a_{v+} = 7,45 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) <math>a_{v-} = 7,45 \text{ см}</math></p>	

5	<p>Имя типа жесткости: RUS_ISAC20-93#@#@#I30W1  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: СТО АСЧМ 20-93  Семейство: Двутавр широкополочный по СТО АСЧМ 20-93  Профиль: 20Ш1</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 81921 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_y = 564,9 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_z = 106,49 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_y = 15776,45 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_z = 9005,75 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{kp} = 0,93 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) <math>a_{u+} = 1,73 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) <math>a_{u-} = 1,73 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) <math>a_{v+} = 7,11 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) <math>a_{v-} = 7,11 \text{ см}</math></p>	
6	<p>Имя типа жесткости: RUS_IBAC20-93#@#@#I20B1  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: СТО АСЧМ 20-93  Семейство: Двутавр нормальный (Б) по СТО АСЧМ 20-93  Профиль: 30Б2</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 98238 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_y = 1514,1 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_z = 106,55 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_y = 15840,78 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_z = 14842,53 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{kp} = 1,07 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) <math>a_{u+} = 1,45 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) <math>a_{u-} = 1,45 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) <math>a_{v+} = 10,28 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) <math>a_{v-} = 10,28 \text{ см}</math></p>	



7	<p>Имя типа жесткости: RUS_U8240-97P#@#@#U20P  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ..  Семейство: Швеллер с параллельными гранями полок по  ГОСТ 8240-97  Профиль: 40П</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,25</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 129150 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_y = 3204,6 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_z = 159,6 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_y = 17881,73 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_z = 23351,31 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{кр} = 2,16 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси  Y(U) <math>a_{u+} = 1,46 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси  Y(U) <math>a_{u-} = 4,05 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси  Z(V) <math>a_{v+} = 12,41 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси  Z(V) <math>a_{v-} = 12,41 \text{ см}</math></p>	
8	<p>Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ..  Семейство: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные  профили по ГОСТ 30245-2003  Профиль: 160x8</p> <p>Модуль упругости <math>E = 21000000,77 \text{ Т/м}^2</math>  Коэффициент Пуассона <math>\nu = 0,3</math>  Объемный вес <math>\gamma = 7,85 \text{ Т/м}^3</math>  Коэффициент температурного расширения <math>\alpha = 1, \text{е-}005</math>  Продольная жесткость <math>EF = 97524 \text{ Т}</math>  Изгибная жесткость (ось Y) <math>EI_y = 365,4 \text{ Т*м}^2</math>  Изгибная жесткость (ось Z) <math>EI_z = 365,4 \text{ Т*м}^2</math>  Сдвиговая жесткость (ось Y) <math>GF_y = 16206 \text{ Т}</math>  Сдвиговая жесткость (ось Z) <math>GF_z = 16206 \text{ Т}</math>  Крутильная жесткость <math>GI_{кр} = 226,92 \text{ Т*м}^2</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси  Y(U) <math>a_{u+} = 4,68 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси  Y(U) <math>a_{u-} = 4,68 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси  Z(V) <math>a_{v+} = 4,68 \text{ см}</math>  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси  Z(V) <math>a_{v-} = 4,68 \text{ см}</math></p>	



## 6. Расчёт

### ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Полный расчет. Версия 21.1.9.9. Сборка: Apr 16 2021  
файл - "H:\folder's files\0th term\23, projects\foundations of the work of metal and wooden structures\steel\projects\_pjs\_model\_rodionova.SPR",  
шифр - "NONAME".

14:57:25 Автоматическое определение числа потоков. Используется : 9

14:57:25 Вычисляются расчетные значения перемещений и усилий

14:57:25 Ввод исходных данных схемы

\*\*\*\*\* ОШИБКИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ КОНТРОЛЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ \*\*\*\*\*

W Проверьте знак длин жестких вставок по оси x1 у элементов : 16 27 33 44 50 61 67 78 84 95 101 112

\*\*\*\*\*

Получено ошибок: 0, предупреждений : 1

14:57:25 Формирование графа смежности узлов

14:57:25 Формирование диагонали и профиля матрицы

14:57:26 Подготовка данных многофронтального метода

14:57:26 Автоматический выбор метода оптимизации.

14:57:26 Использование оперативной памяти: 70 процентов

14:57:26 Высокопроизводительный режим факторизации

14:57:26 Упорядочение матрицы алгоритмом минимальной степени

14:57:26 Информация о расчетной схеме:

- шифр схемы NONAME
- порядок системы уравнений 1038
- ширина ленты 894
- количество элементов 470, удаленных 0
- количество узлов 195, удаленных 0
- количество загрузок 6
- плотность матрицы 68%

14:57:26 Необходимая для выполнения расчета дисковая память:

- матрица жесткости - 0.428 Mb
- динамика - 0.000 Mb
- перемещения - 0.056 Mb
- усилия - 0.406 Mb
- рабочие файлы - 0.053 Mb

-----  
всего - 1.073 Mb

14:57:26 На диске свободно 131762.896 Mb

14:57:26 Разложение матрицы жесткости многофронтальным методом.

14:57:27 Геометрически изменяемая система по направлению 2 в узлах : 181-195

14:57:27 Геометрически изменяемая система по направлению 5 в узлах : 181-195

14:57:27 Нулевая строка матрицы жесткости по направлению 2 в узлах : 181-195

14:57:27 Нулевая строка матрицы жесткости по направлению 5 в узлах : 181-195

14:57:27 Накопление нагрузок.

Суммарные внешние нагрузки (Т, Тм)

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
1-	0	0	86.5596	-0.454702	0	0
2-	0	0	216	-4.968	0	0
3-	0	0	162	-3.726	0	0
4-	0	0	64.8	0	0	0
5-	0	0	43.2	0	0	0
6-	16.2	0	0	0	-11.25	0

14:57:27 ВНИМАНИЕ: Дана сумма внешних нагрузок  
без учета приложенных непосредственно на связи

14:57:27 ВНИМАНИЕ: Не учитывается нагрузка на жесткие вставки при задании  
равномерно-распределенных нагрузок на стержневые элементы

14:57:27 Вычисление перемещений.

14:57:27 Потенциальная энергия (Тм)

14:57:27	1 -	0.238306
14:57:27	2 -	3.34234
14:57:27	3 -	1.88007
14:57:27	4 -	0.196466

14:57:27 5 - 0.0873183  
14:57:27 6 - 0.0158348  
14:57:27 Сортировка перемещений  
14:57:27 Контроль решения  
14:57:27 Вычисление усилий  
14:57:27 Сортировка усилий и напряжений  
14:57:28 Вычисление сочетаний нагружений.  
14:57:28 Вычисление усилий от комбинаций загружений  
14:57:28 Сортировка усилий и напряжений от комбинаций загружений  
14:57:28 Вычисление перемещений от комбинаций загружений  
14:57:28 Выбор расчетных сочетаний усилий по СП 20.13330.2016, изменение 1  
14:57:28 В расчетных сочетаниях не учитываются комбинации загружений: 1 2  
14:57:28 Выбор расчетных сочетаний перемещений по СП 20.13330.2016, изменение 1  
14:57:28 В расчетных сочетаниях не учитываются комбинации загружений: 1 2  
14:57:28 Выбор расчетных сочетаний прогибов в стержнях по СП 20.13330.2016, изменение 1  
14:57:28 В расчетных сочетаниях не учитываются комбинации загружений: 1 2  
14:57:28 ЗАДАНИЕ ВЫПОЛНЕНО  
Затраченное время : 0:00:03 ( 1 min )

## 7. Результаты расчёта

### 7.1. Перемещения схемы

Перемещения

16

	X	
	MM	MM
✓	-8,4	-7,49 2
✓	-7,49	-6,58 0
✓	-6,58	-5,67 0
✓	-5,67	-4,75 0
✓	-4,75	-3,84 2
✓	-3,84	-2,93 1
✓	-2,93	-2,02 14
✓	-2,02	-1,11 58
✓	-1,11	-0,2 60
✓	-0,2	0,71 53
✓	0,71	1,62 1
✓	1,62	2,53 2
✓	2,53	3,44 0
✓	3,44	4,36 0
✓	4,36	5,27 0
✓	5,27	6,18 2

☐ Шкала фрагмента

Закреть

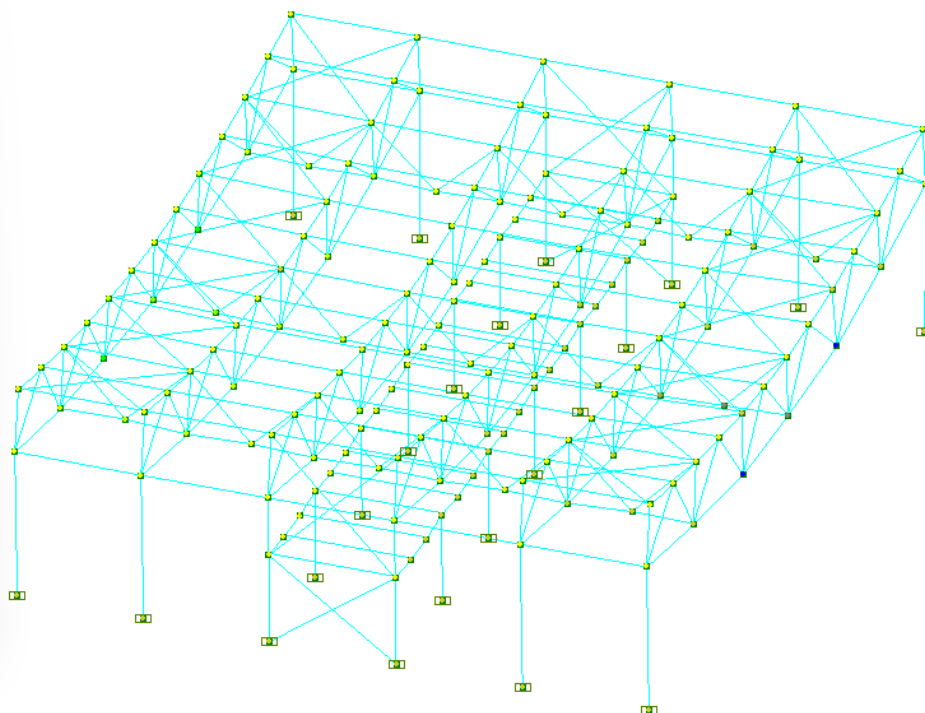


Рис. 7.1. Перемещения по X.

Перемещения

16

	Y	
	MM	MM
✓	-12,04	-10,54 4
✓	-10,54	-9,04 8
✓	-9,04	-7,55 12
✓	-7,55	-6,05 12
✓	-6,05	-4,55 6
✓	-4,55	-3,06 16
✓	-3,06	-1,56 10
✓	-1,56	-0,06 4
✓	-0,06	1,43 55
✓	1,43	2,93 10
✓	2,93	4,42 10
✓	4,42	5,92 12
✓	5,92	7,42 8
✓	7,42	8,91 14
✓	8,91	10,41 10
✓	10,41	11,91 4

☐ Шкала фрагмента

Закреть

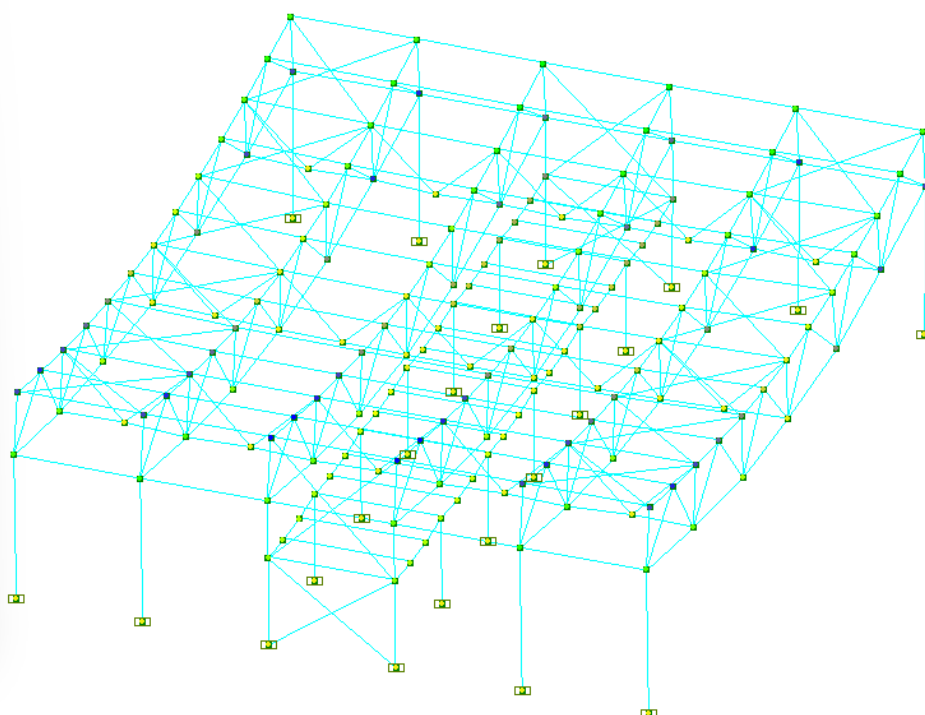


Рис. 7.2. Перемещения по Y.

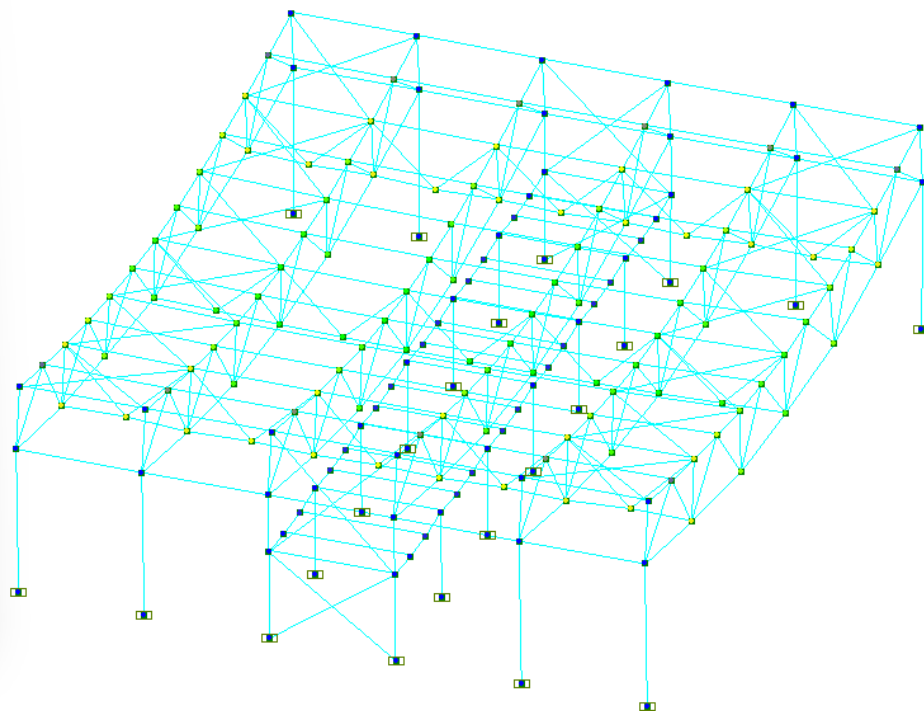
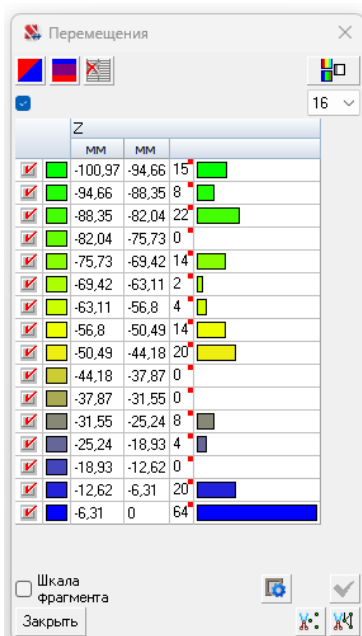


Рис. 7.3. Перемещения по Z.

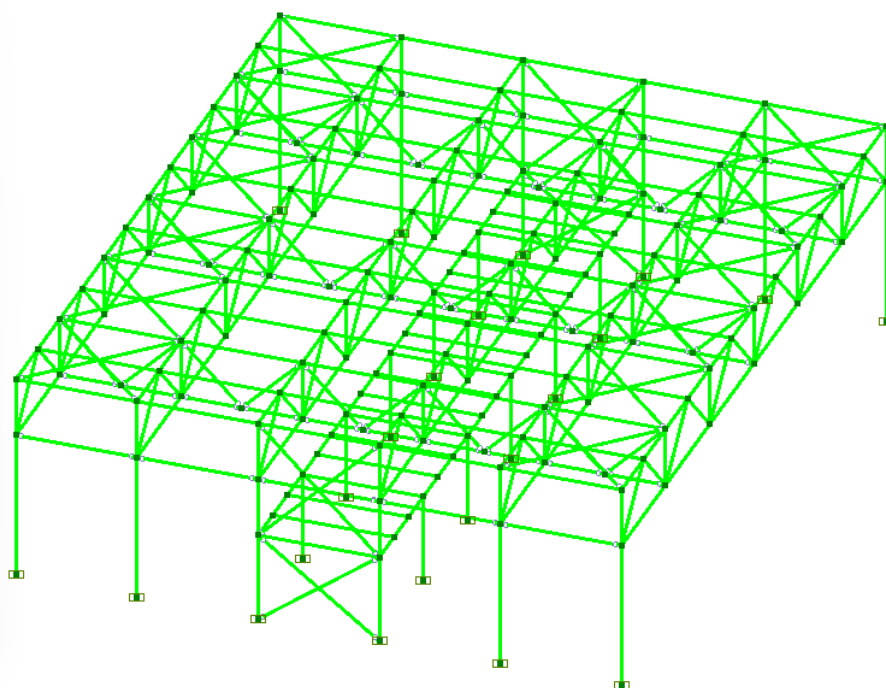
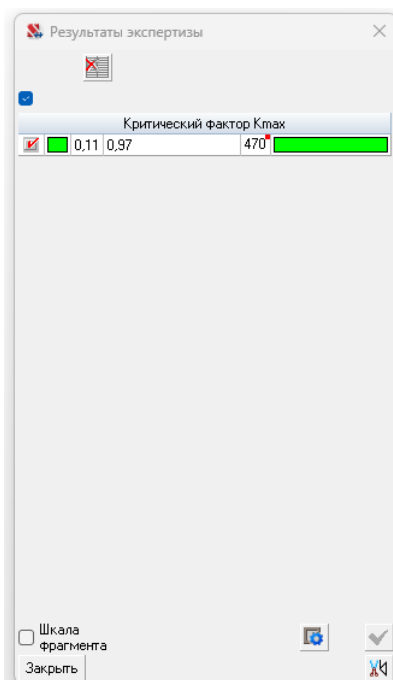


Рис. 7.4. Результаты экспертизы.

## 7.2. Результаты расчёта узлов

### 7.2.1. Жесткие базы колонн

Расчет выполнен по СП 16.13330.2017 с изменениями №1,2

Коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$

Коэффициент условий работы 1

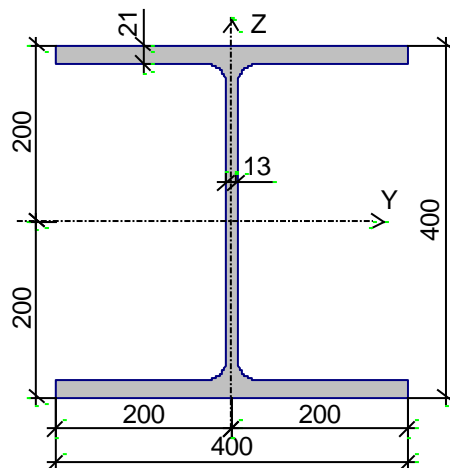
Сталь колонны С345

Сталь плиты С245

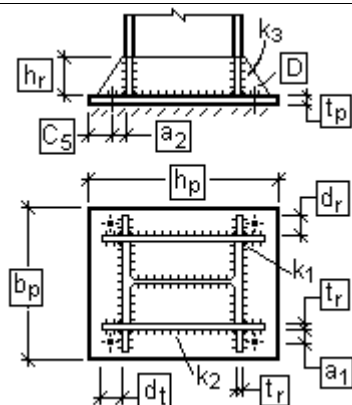
Бетон тяжелый класса В15

#### Профиль

40К2 (Двутавр колонный (К) по СТО АСЧМ 20-93)



#### Конструкция



Болты анкерные диаметра 20 из стали Ст3пс4

$h_p = 595$  мм

$b_p = 625$  мм

$t_p = 20$  мм

$h_r = 225$  мм

$d_r = 100$  мм

$d_t = 97,5$  мм

$t_r = 12$  мм

$C_5 = 51,5$  мм

$a_1 = 55$  мм

$a_2 = 46$  мм

$k_1 = 8$  мм

$k_2 = 6$  мм

$k_3 = 4$  мм

#### Свойства материалов сварки

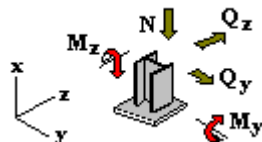
Нормативное сопротивление металла шва	по	49949,032 Т/м <sup>2</sup>
временному сопротивлению, $R_{wun}$		

Расчетное сопротивление угловых швов срезу металлу шва, $R_{wf}$	по	21916,412 Т/м <sup>2</sup>
--	----	----------------------------

Вид сварки	Ручная
------------	--------

Положение шва	Нижнее
---------------	--------

#### Знаки усилий



### Результаты расчета по комбинациям нагрузений

	N	$M_y$	$Q_z$	$M_z$	$Q_y$
	T	$T^*_{\text{м}}$	T	$T^*_{\text{м}}$	T
1	51,67	8,2	0,23	0,61	0,19

Проверено по СНиП	Проверка	Коэффициент использования
п.8.6.2, (101), (103)	Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых по контуру	0,522
п.8.6.2, (101), (104)	Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых на три стороны	0,938
п.8.6.2, (101), (104)	Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых на две стороны, которые сходятся под углом	0,457
п.8.6.2, (101)	Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на свободных трапецевидных участках плиты	$2,345 \cdot 10^{-005}$
	Прочность бетона фундамента на местное смятие под плитой	0,353
п.14.1.16, (176), (177)	Прочность крепления траверсы к полкам колонны	0,98
п.14.1.16, (176), (177)	Прочность крепления траверсы к опорной плите	0,843
п.14.1.16, (176), (177), п.14.1.17, (178), (179), п.14.1.19, (182), (183)	Прочность крепления консольного ребра к траверсе	0,809
п.14.2.9, (186)-(188), п.14.2.10, (189)	Прочность фундаментных болтов	0,045
п. 9.1.1	Несущая способность поперечного сечения колонны	0,323

**Коэффициент использования 0,98 - Прочность крепления траверсы к полкам колонны**

Коэффициент использования по всему пакету комбинаций 0,98 - Прочность крепления траверсы к полкам колонны

### Кривые взаимодействия



## 7.2.2. Сопряжение ригеля с колонной

Расчет выполнен по СП 16.13330.2017 с изменениями №1,2

Коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$

Коэффициент условий работы колонны 1

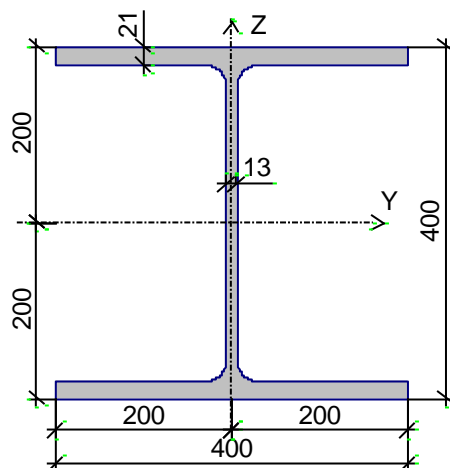
Коэффициент условий работы ригелей 1

**Колонна**

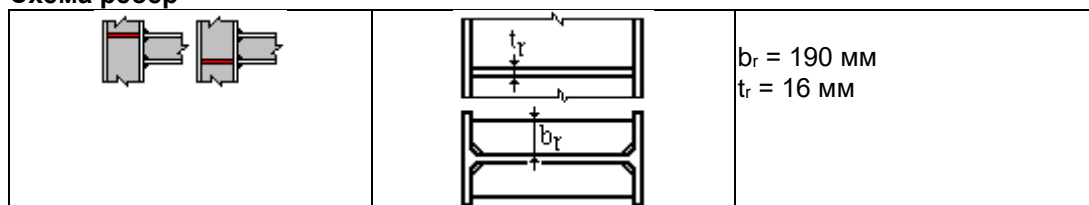
Сталь колонны С345

### Профиль

40K2 (Двутавр колонный (К) по СТО АСЧМ 20-93)



### Схема ребер



Положение ригеля - верхнее

### Ригель 1 (жесткое сопряжение)

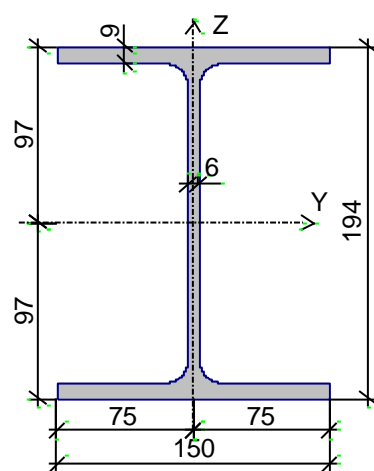
Сталь ригеля С345

Сталь фланца С255

Сталь ребра С245

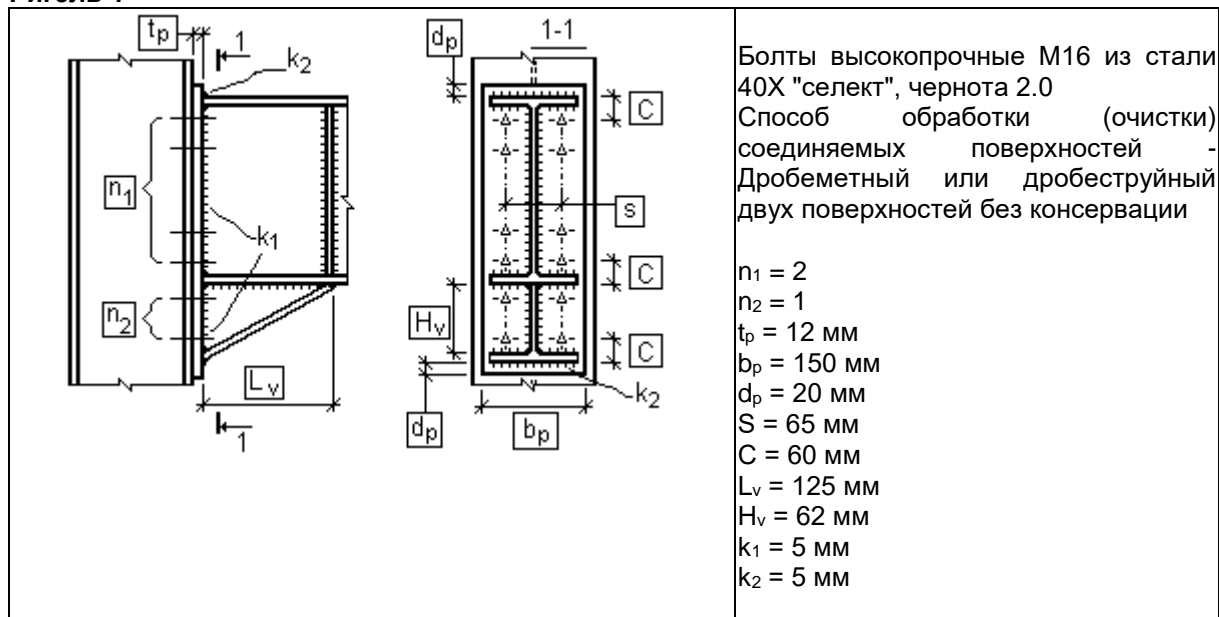
### Профиль

20Ш1 (Двутавр широкополочный по СТО АСЧМ 20-93)



### Конструкция

#### Ригель 1



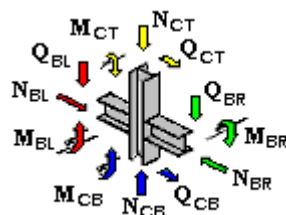
### Свойства материалов сварки

Нормативное сопротивление металла шва по 49949,032 Т/м<sup>2</sup>  
временному сопротивлению,  $R_{wun}$



Свойства материалов сварки	
Расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва, $R_{wf}$	21916,412 Т/м <sup>2</sup>
Вид сварки	Ручная
Положение шва	Нижнее

#### Знаки усилий



#### Результаты расчета по комбинациям нагрузок

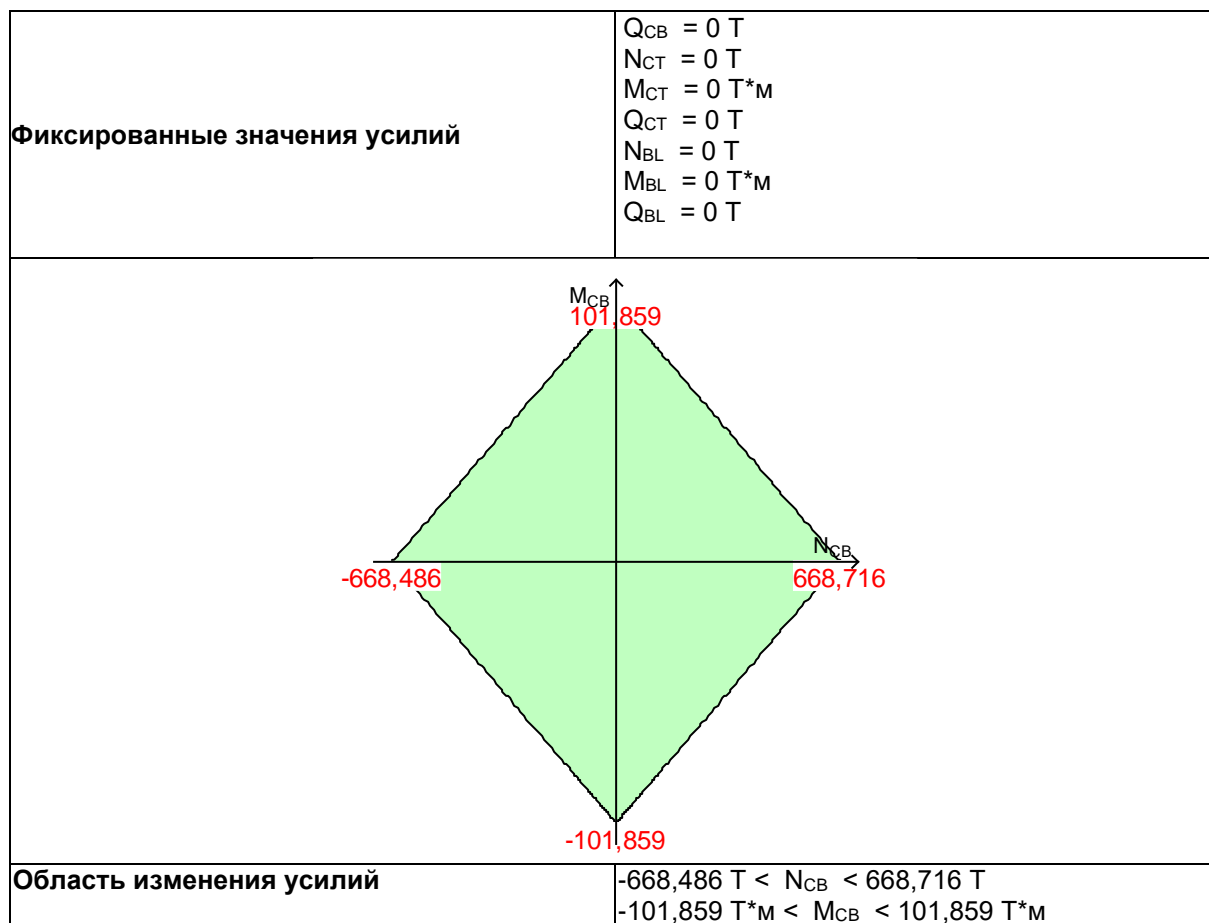
	Ригель 1			Верх колонны			Низ колонны		
	$N_{BL}$	$M_{BL}$	$Q_{BL}$	$N_{CT}$	$M_{CT}$	$Q_{CT}$	$N_{CB}$	$M_{CB}$	$Q_{CB}$
	T	T*M	T	T	T*M	T	T	T*M	T
1	26,06	2,84	1,67	41,96	11,78	26,22	50,86	7,15	0,23

Проверено по СНиП	Проверка	Коэффициент использования
п. 8.2.1, (41)	Прочность фланца при изгибе с учетом ослабления отверстиями (ригель 1)	0,39
п.14.1.16, (176), (177), п.14.1.17, (178), (179), п.14.1.19, (182), (183)	Прочность сварного соединения ригеля с фланцем (ригель 1)	0,855
п.9.1.1, (106)	Прочность стенки колонны по нормальным напряжениям	0,166
п.8.2.1, (42)	Прочность стенки колонны по касательным напряжениям	0,161
п.8.2.1, (44)	Прочность стенки колонны по приведенным напряжениям	0,201
п.9.4.2, (125), (126), п.9.4.3, (131)	Местная устойчивость стенки колонны	0,006
п.14.3.3, (191), п.14.3.4, (192)	Прочность болтового соединения фланца ригеля с полкой колонны на срез (ригель 1)	0,167
п. 9.1.1	Несущая способность сечения балки (ригель 1)	0,488
п. 8.2.1	Несущая способность сечения колонны	0,312

Коэффициент использования 0,855 - Прочность сварного соединения ригеля с фланцем (ригель 1)

Коэффициент использования по всему пакету комбинаций 0,855 - Прочность сварного соединения ригеля с фланцем (ригель 1)

### Кривые взаимодействия



### 7.2.3. Узлы ферм

Расчет выполнен по СП 16.13330.2017 с изменениями №1,2


Коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n = 1$

Коэффициент условий работы 1

Сталь трубы С345

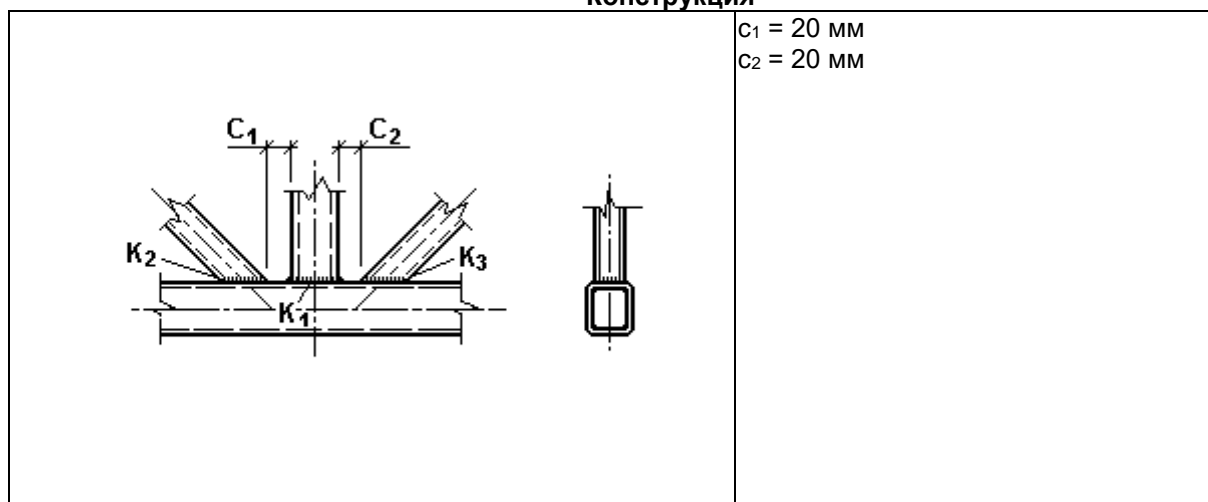
Свойства материалов сварки	
Нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению, $R_{wun}$	49949,032 Т/м <sup>2</sup>
Расчетное сопротивление угловых швов срезу металлу шва, $R_{wf}$	21916,412 Т/м <sup>2</sup>
Тип сварки	Заводская сварка
Вид сварки	Ручная
Положение шва	Нижнее

### Элементы узла

			$a = 3 \text{ м}$ $b = 3 \text{ м}$ $c = 3 \text{ м}$ $d = 3 \text{ м}$		
Элемент	Тип сечения	Профиль			

1	<input type="checkbox"/>	160x8 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003)
2	<input type="checkbox"/>	140x4 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003)
3	<input type="checkbox"/>	140x4 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003)
4	<input type="checkbox"/>	140x4 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003)

### Конструкция

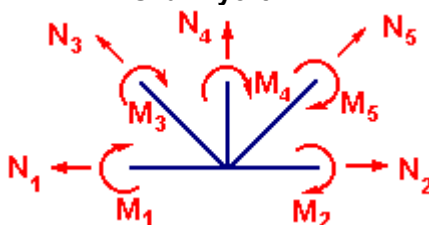


$C_1 = 20 \text{ мм}$   
 $C_2 = 20 \text{ мм}$

### Сварные швы

Швы (мм)	$K_1$	$K_2$	$K_3$
Катет	5	5	5

### Знаки усилий



### Результаты расчета по комбинациям нагрузок

	$N_1$	$M_1$	$N_2$	$M_2$	$N_3$	$M_3$	$N_4$	$M_4$	$N_5$	$M_5$
	T	T*M	T	T*M	T	T*M	T	T*M	T	T*M
1	75,96	0,11	52,69	0,003	22,42	0,01	8,23	0,02	10,62	0,002

Проверено по СНиП	Проверка	Коэффициент использования
п.Л.2.2, (Л.1), п.Л.2.3, (Л.2)	Несущая способность участка стенки пояса на продавливание (вырывание) в месте примыкания левого раскоса	0,284
п.Л.2.2, (Л.1), п.Л.2.3, (Л.2)	Несущая способность участка стенки пояса на продавливание (вырывание) в месте примыкания правого раскоса	0,134
п.Л.2.2, (Л.1), п.Л.2.3, (Л.2)	Несущая способность участка стенки пояса на	0,208

Проверено по СНиП	Проверка	Коэффициент использования
	продавливание (вырывание) в месте примыкания стойки	
п.Л.2.5, (Л.4), (Л.5)	Несущая способность левого раскоса в зоне примыкания к поясу	0,363
п.Л.2.5, (Л.4), (Л.5)	Несущая способность правого раскоса в зоне примыкания к поясу	0,172
п.Л.2.5, (Л.4), (Л.5)	Несущая способность стойки в зоне примыкания к поясу	0,19
п.Л.2.6, (Л.6), (Л.7)	Несущая способность сварного шва, прикрепляющего левый раскос к поясу	0,582
п.Л.2.6, (Л.6), (Л.7)	Несущая способность сварного шва, прикрепляющего правый раскос к поясу	0,276
п.Л.2.6, (Л.6), (Л.7)	Несущая способность сварного шва, прикрепляющего стойку к поясу	0,389
п. 9.1.1	Прочность элемента пояса фермы левой панели	0,743
п. 9.1.1	Прочность элемента пояса фермы правой панели	0,501
п. 9.1.1	Прочность раскоса фермы левой панели	0,306
п. 9.1.1	Прочность раскоса фермы правой панели	0,144
п. 9.1.1	Прочность стойки фермы	0,117

**Коэффициент использования 0,743 - Прочность элемента пояса фермы левой панели**

**Коэффициент использования по всему пакету комбинаций 0,743 - Прочность элемента пояса фермы левой панели**

Катет шва крепления левого раскоса больше допустимого значения.

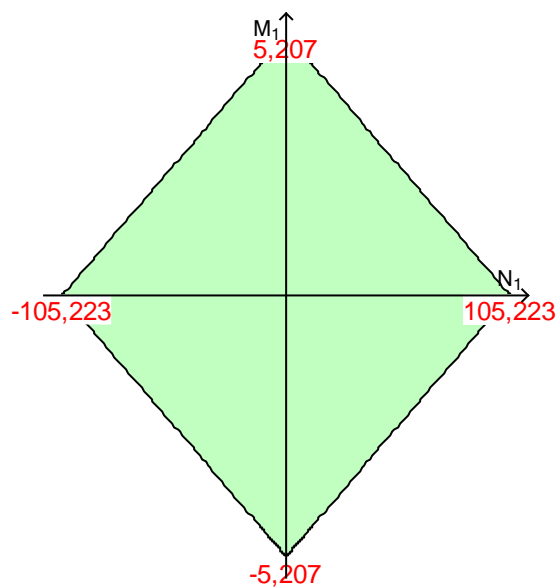
Катет шва крепления стойки больше допустимого значения.

Катет шва крепления правого раскоса больше допустимого значения.

**Кривые взаимодействия**

Фиксированные значения усилий

$$\begin{aligned} N_2 &= 0 \text{ Т} \\ M_2 &= 0 \text{ Т}^*\text{м} \\ N_3 &= 0 \text{ Т} \\ M_3 &= 0 \text{ Т}^*\text{м} \\ N_4 &= 0 \text{ Т} \\ M_4 &= 0 \text{ Т}^*\text{м} \\ N_5 &= 0 \text{ Т} \\ M_5 &= 0 \text{ Т}^*\text{м} \end{aligned}$$



Область изменения усилий

$$\begin{aligned} -105,223 \text{ Т} &< N_1 < 105,223 \text{ Т} \\ -5,207 \text{ Т}^*\text{м} &< M_1 < 5,207 \text{ Т}^*\text{м} \end{aligned}$$

### **Список использованных источников**

1. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. Свод правил по проектированию и строительству. М.: 2005 – 132 с.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями N 1, 2).
3. СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*" (с Поправкой, с Изменением N 1). Дата введения 2017-08-28
4. ГОСТ 21.502-2007. Правила выполнения проектной и рабочей документации металлических конструкций, М.: Стандартиформ. 2008 – 20 с.