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. Арискин М. В.

Проект защищен\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Пенза 2023

Содержание

[1. Общие данные 3](#_Toc133173812)

[1.1 Сбор нагрузок 3](#_Toc133173813)

[2. Краткая характеристика методики расчета 3](#_Toc133173814)

[2.1. Системы координат 4](#_Toc133173815)

[2.2. Тип схемы 5](#_Toc133173816)

[2.3. Выбранный режим статического расчета 5](#_Toc133173817)

[2.4. Условия примыкания элементов к узлам 5](#_Toc133173818)

[2.5. Характеристики использованных типов конечных элементов 5](#_Toc133173819)

[3. Правило знаков для перемещений 6](#_Toc133173820)

[3.1. Усилия и напряжения 6](#_Toc133173821)

[3.2. Правило знаков для усилий (напряжений) 6](#_Toc133173822)

[4. Нагрузки, действующие на схему 8](#_Toc133173823)

[5. Расчётные сочетания нагрузок 12](#_Toc133173824)

[6. Расчёт 17](#_Toc133173825)

[7. Результаты расчёта 19](#_Toc133173826)

[7.1. Перемещения схемы 19](#_Toc133173827)

[7.2. Результаты расчёта узлов 21](#_Toc133173828)

[Список использованных источников 30](#_Toc133173829)

# 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: ;

‒ Снеговая нагрузка: ;

‒ Нагрузка от пола: ;

‒ Полезная нагрузка: ;

*‒* Ветровая нагрузка: .

# 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 , где — максимальный шаг сетки; — характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени , 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 ориентирована вдоль стержня, а оси и ‒ 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 , изгибающие моменты и , поперечные силы и , а также крутящий момент .

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 и расположены в плоскости элемента и ось направлена от первого узла ко второму, а ось 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 загружений 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:

‒ продольная сила;

‒ крутящий момент;

‒ изгибающий момент с вектором вдоль оси ;

‒ перерезывающая сила в направлении оси соответствующая моменту ;

‒ изгибающий момент относительно оси ;

‒ перерезывающая сила в направлении оси соответствующая моменту ;

‒ отпор упругого основания.

Положительные направления усилий в стержнях приняты следующими:

для перерезывающих сил и ‒ по направлениям соответствующих осей и ;

для моментов , , ‒ против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси , , ;

положительная продольная сила 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 и .

# 4. Нагрузки, действующие на схему

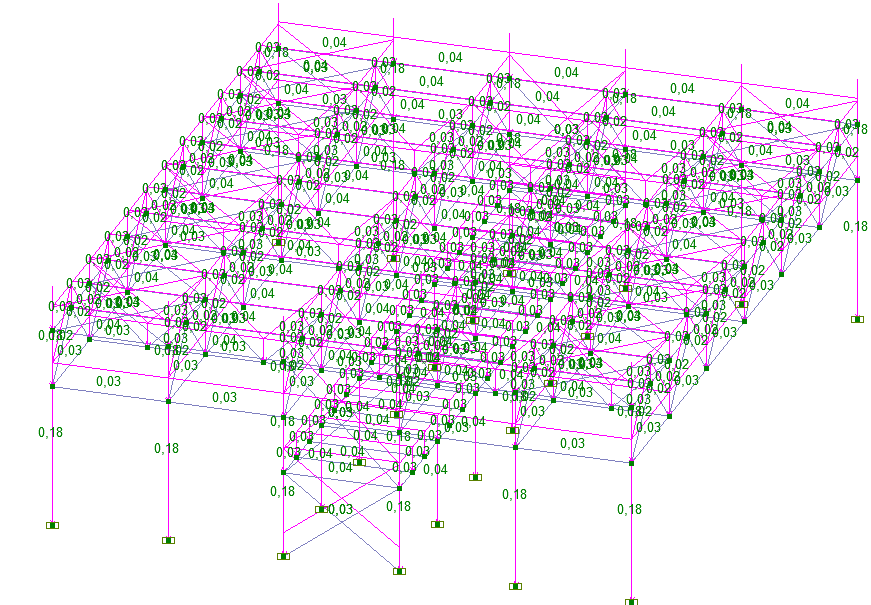
****

Рис. 4.1. Нагрузка от собственного веса.

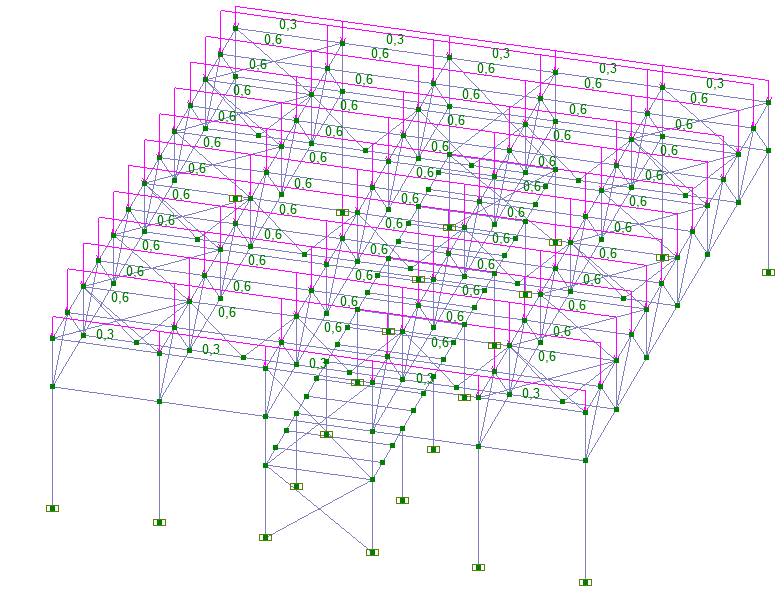


Рис. 4.2. Нагрузка от кровли.

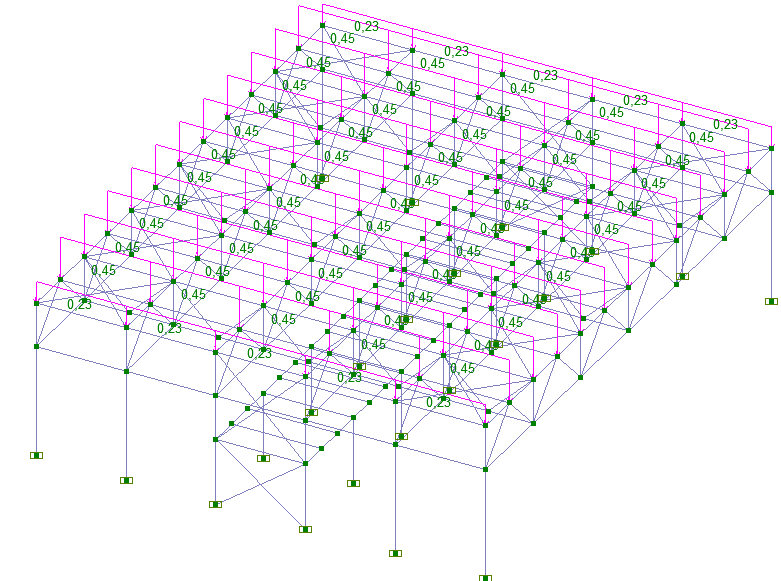


Рис. 4.3. Нагрузка от снега.

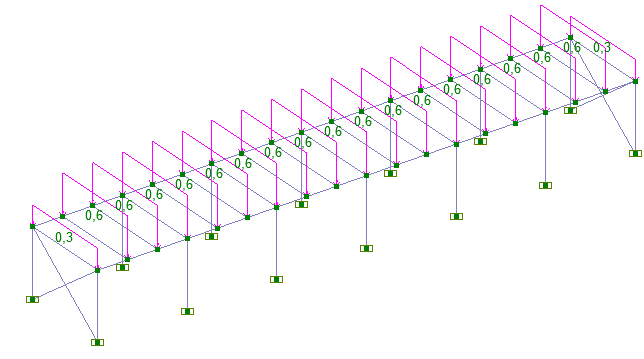


Рис. 4.4. Полезная нагрузка.

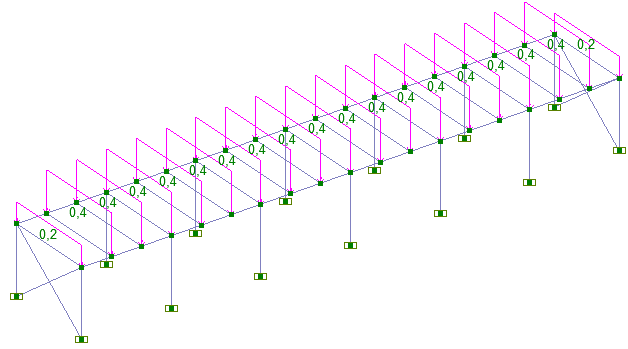


Рис. 4.5. Нагрузка от пола.

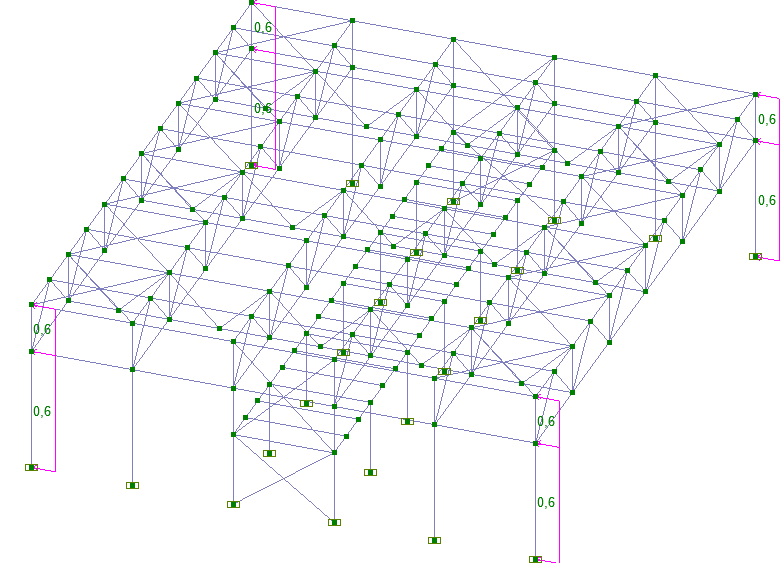


Рис. 4.6. Ветровая нагрузка.

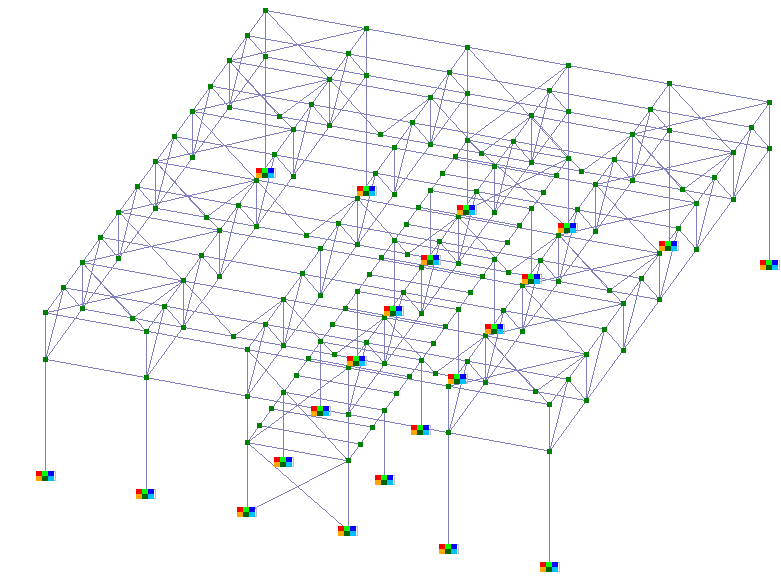


Рис. 4.7. Связи.

# 5. Расчётные сочетания нагрузок

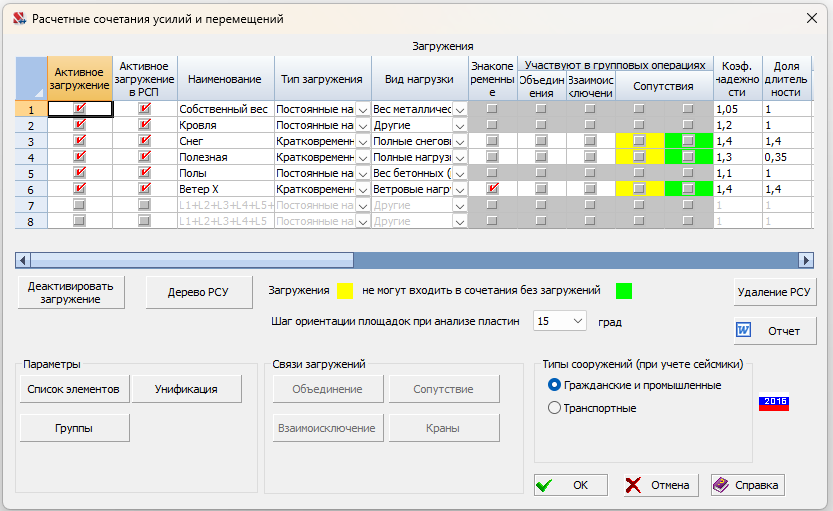
****

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.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **жесткости** | | |
| Тип | Жесткость | Изображение |
| 1 | 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  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 459207,01 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 13990,83 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 4706,52 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 77444,63 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 146946,23 Т  Крутильная жесткость GIkp = 22,68 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 5,12 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 5,12 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 15,23 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 15,23 см |  |
| 2 | 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  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 97524 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 365,4 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 365,4 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 16854,24 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 16854,24 Т  Крутильная жесткость GIkp = 235,99 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 4,68 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 4,68 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 4,68 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 4,68 см |  |
| 3 | 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  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 44835 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 136,82 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 136,82 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 7887,86 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 7887,86 Т  Крутильная жесткость GIkp = 84,52 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 4,36 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 4,36 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 4,36 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 4,36 см |  |
| 4 | 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  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 110649 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 807,66 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 281,69 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 23531,18 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 9850,47 Т  Крутильная жесткость GIkp = 1,49 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 2,56 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 2,56 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 7,45 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 7,45 см |  |
| 5 | 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  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 81921 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 564,9 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 106,49 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 15776,45 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 9005,75 Т  Крутильная жесткость GIkp = 0,93 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 1,73 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 1,73 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 7,11 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 7,11 см |  |
| 6 | 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  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 98238 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 1514,1 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 106,55 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 15840,78 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 14842,53 Т  Крутильная жесткость GIkp = 1,07 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 1,45 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 1,45 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 10,28 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 10,28 см |  |
| 7 | Имя типа жесткости: RUS\_U8240-97P#@§@#U20P  Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ..  Семейство: Швеллер с паpаллельными гpанями полок по ГОСТ 8240-97  Профиль: 40П  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,25  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 129150 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 3204,6 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 159,6 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 17881,73 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 23351,31 Т  Крутильная жесткость GIkp = 2,16 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 1,46 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 4,05 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 12,41 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 12,41 см |  |
| 8 | Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката  Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ..  Семейство: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003  Профиль: 160x8  Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м2  Коэффициент Пуассона n = 0,3  Объемный вес r = 7,85 Т/м3  Коэффициент температурного расширения a = 1,e-005  Продольная жесткость EF = 97524 Т  Изгибная жесткость (ось Y) EIy = 365,4 Т\*м2  Изгибная жесткость (ось Z) EIz = 365,4 Т\*м2  Сдвиговая жесткость (ось Y) GFy = 16206 Т  Сдвиговая жесткость (ось Z) GFz = 16206 Т  Крутильная жесткость GIkp = 226,92 Т\*м2  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) au+ = 4,68 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) au- = 4,68 см  Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) av+ = 4,68 см  Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) av- = 4,68 см |  |

# 6. Расчёт

П Р О Т О К О Л В Ы П О Л Н Е Н И Я Р А С Ч Е Т А

Полный pасчет. Версия 21.1.9.9. Сборка: Apr 16 2021

файл - "H:folder's files0th term'23, projectsfoundations of the work of metal and

wooden structuressteelprojects\_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:

- шифp схемы NONAME

- поpядок системы уpавнений 1038

- шиpина ленты 894

- количество элементов 470, удаленых 0

- количество узлов 195, удаленых 0

- количество загpужений 6

- плотность матpицы 68%

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

матpица жесткости - 0.428 Mb

динамика - 0.000 Mb

пеpемещения - 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)

14:57:27 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 нагpужений.

14:57:28 Вычисление усилий от комбинаций загpужений

14:57:28 Сортировка усилий и напряжений от комбинаций загpужений

14:57:28 Вычисление пеpемещений 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 З А Д А Н И Е В Ы П О Л Н Е Н О

Затраченное время : 0:00:03 ( 1 min )

# 7. Результаты расчёта

## **7.1. Перемещения схемы**

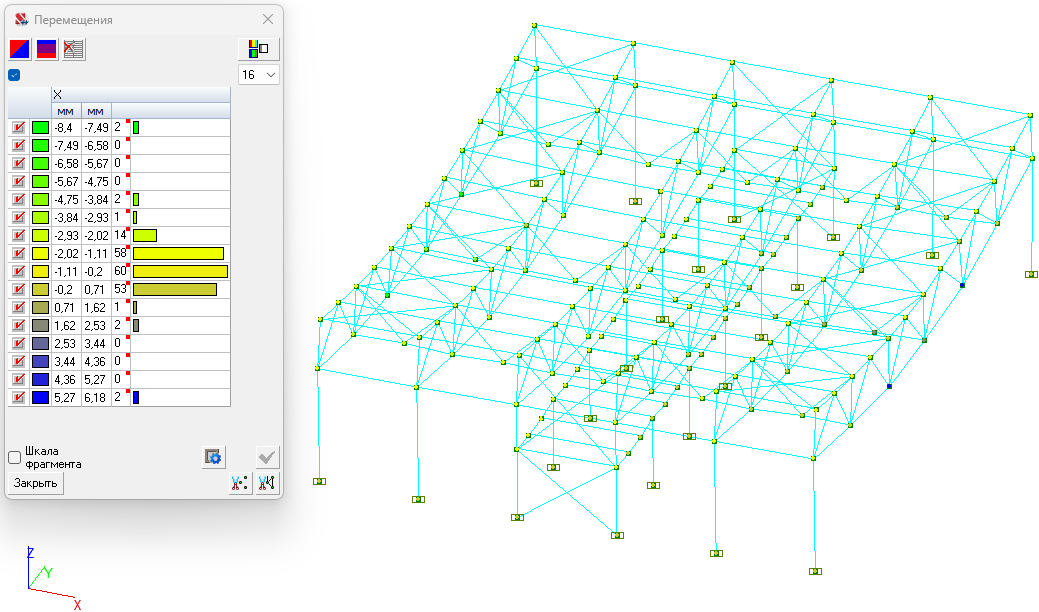


Рис. 7.1. Перемещения по X.

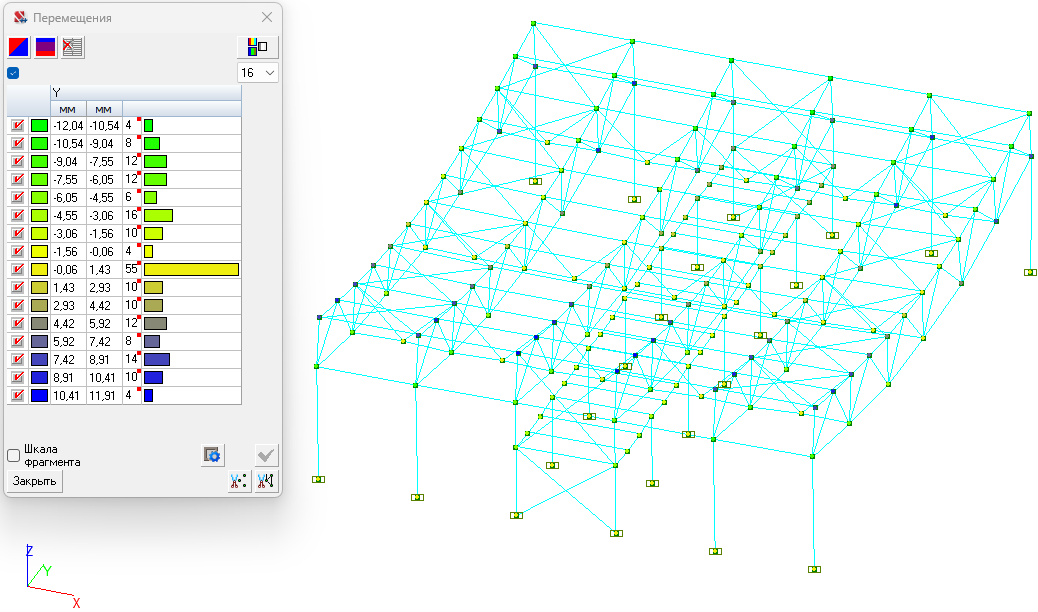


Рис. 7.2. Перемещения по Y.

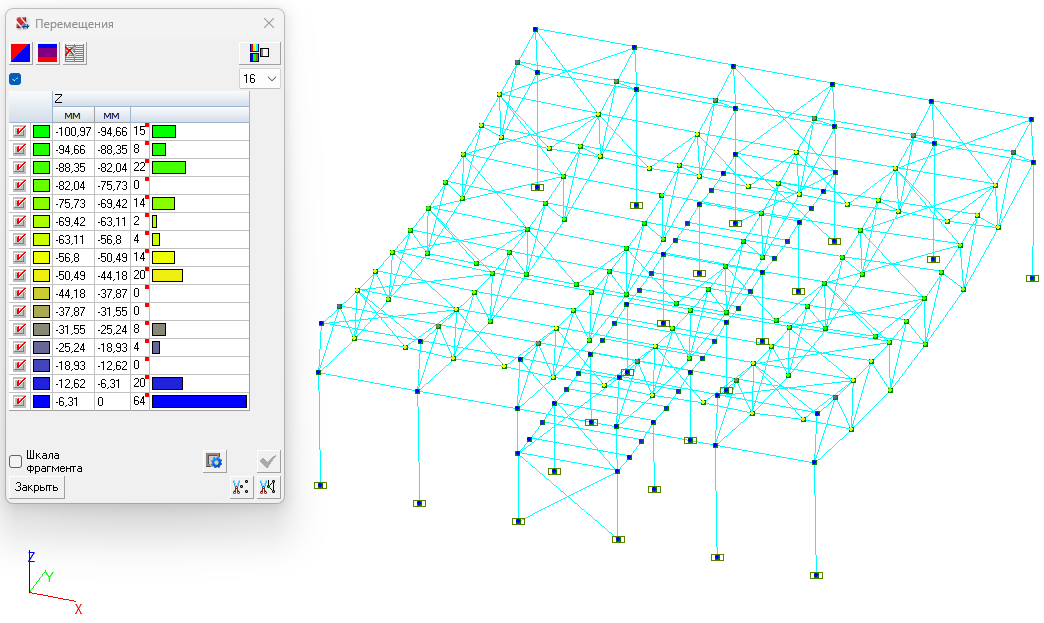


Рис. 7.3. Перемещения по Z.

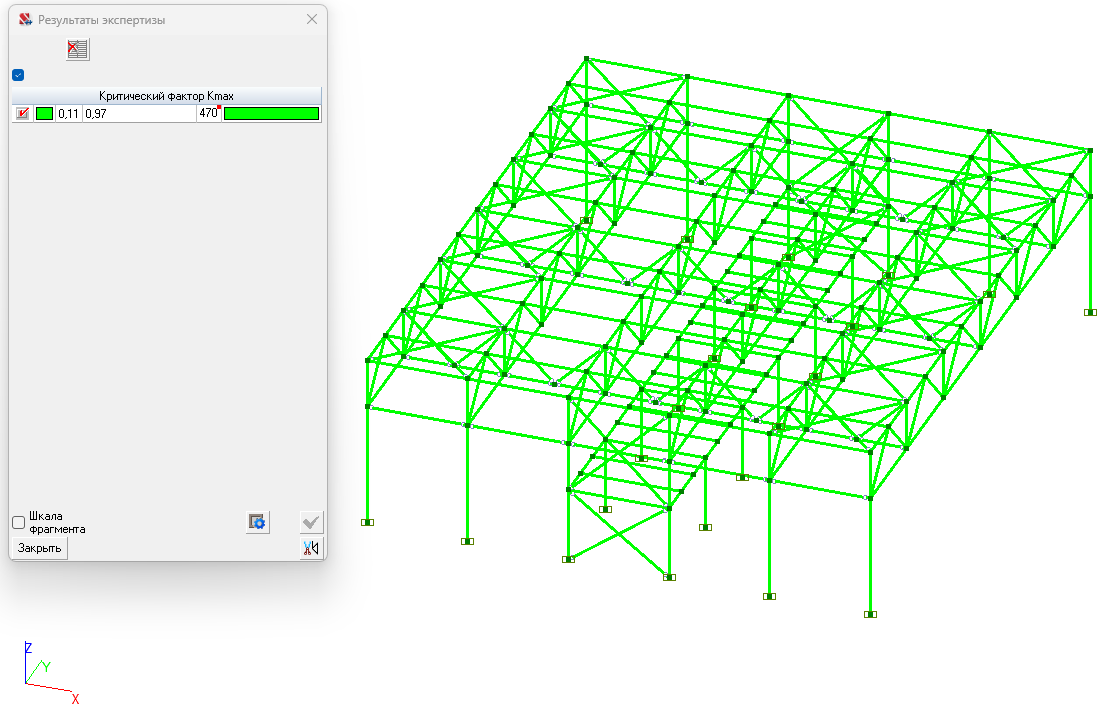


Рис. 7.4. Результаты экспертизы.

## **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 n = 1

Коэффициент условий работы 1

Сталь колонны C345

Сталь плиты C245

Бетон тяжелый класса B15

**Профиль**

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

**Конструкция**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Болты анкерные диаметра 20 из стали Ст3пс4  hp = 595 мм  bp = 625 мм  tp = 20 мм  hr = 225 мм  dr = 100 мм  dt = 97,5 мм  tr = 12 мм  C5 = 51,5 мм  a1 = 55 мм  a2 = 46 мм  k1 = 8 мм  k2 = 6 мм  k3 = 4 мм |

| **Свойства материалов сварки** | |
| --- | --- |
| Нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению, Rwun | 49949,032 Т/м2 |
| Расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва, Rwf | 21916,412 Т/м2 |
| Вид сварки | Ручная |
| Положение шва | Нижнее |

**Знаки усилий**

****

**Результаты расчета по комбинациям загружений**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | N | My | Qz | Mz | Qy |
|  | Т | Т\*м | Т | Т\*м | Т |
| 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 трапециевидных участках плиты | 2,345\*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**

| **Фиксированные значения усилий** | Qz = 0 Т  Mz = 0 Т\*м  Qy = 0 Т |
| --- | --- |
|  | |
| **Область изменения усилий** | -18,05 Т < N < 97,695 Т  -12,175 Т\*м < My < 12,175 Т\*м |

**7.2.2. Сопряжение ригеля с колонной**

**Расчет выполнен по СП 16.13330.2017 с изменениями №1,2**

Коэффициент надежности по ответственности n = 1

Коэффициент условий работы колонны 1

Коэффициент условий работы ригелей 1

**Колонна**

Сталь колонны C345

**Профиль**

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

**Схема ребер**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | br = 190 мм  tr = 16 мм |

Положение ригеля - верхнее

**Ригель 1 (жесткое сопряжение)**

Сталь ригеля C345

Сталь фланца C255

Сталь ребра C245

**Профиль**

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

**Конструкция**

**Ригель 1**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Болты высокопрочные M16 из стали 40Х "селект", чернота 2.0  Способ обработки (очистки) соединяемых поверхностей - Дробеметный или дробеструйный двух поверхностей без консервации  n1 = 2  n2 = 1  tp = 12 мм  bp = 150 мм  dp = 20 мм  S = 65 мм  C = 60 мм  Lv = 125 мм  Hv = 62 мм  k1 = 5 мм  k2 = 5 мм |

| **Свойства материалов сварки** | |
| --- | --- |
| Нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению, Rwun | 49949,032 Т/м2 |
| Расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва, Rwf | 21916,412 Т/м2 |
| Вид сварки | Ручная |
| Положение шва | Нижнее |

**Знаки усилий**

****

**Результаты расчета по комбинациям загружений**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Ригель 1 | | | Верх колонны | | | Низ колонны | | |
|  | NBL | MBL | QBL | NCT | MCT | QCT | NCB | MCB | QCB |
|  | Т | Т\*м | Т | Т | Т\*м | Т | Т | Т\*м | Т |
| 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**

| **Фиксированные значения усилий** | QCB = 0 Т  NCT = 0 Т  MCT = 0 Т\*м  QCT = 0 Т  NBL = 0 Т  MBL = 0 Т\*м  QBL = 0 Т |
| --- | --- |
|  | |
| **Область изменения усилий** | -668,486 Т < NCB < 668,716 Т  -101,859 Т\*м < MCB < 101,859 Т\*м |

**7.2.3. Узлы ферм**

**Расчет выполнен по СП 16.13330.2017 с изменениями №1,2**

Коэффициент надежности по ответственности n = 1

Коэффициент условий работы 1

Сталь трубы C345

| **Свойства материалов сварки** | |
| --- | --- |
| Нормативное сопротивление металла шва по временному сопротивлению, Rwun | 49949,032 Т/м2 |
| Расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва, Rwf | 21916,412 Т/м2 |
| Тип сварки | Заводская сварка |
| Вид сварки | Ручная |
| Положение шва | Нижнее |

**Элементы узла**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | a = 3 м  b = 3 м  c = 3 м  d = 3 м |
| **Элемент** | **Тип сечения** | **Профиль** | |
| 1 |  | 160x8 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003) | |
| 2 |  | 140x4 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003) | |
| 3 |  | 140x4 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003) | |
| 4 |  | 140x4 (Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003) | |

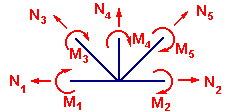
**Конструкция**

|  |  |
| --- | --- |
|  | c1 = 20 мм  c2 = 20 мм |

**Сварные швы**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Швы (мм) | K1 | K2 | K3 |
| Катет | 5 | 5 | 5 |

**Знаки усилий**

****

**Результаты расчета по комбинациям загружений**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | N1 | M1 | N2 | M2 | N3 | M3 | N4 | M4 | N5 | M5 |
|  | Т | Т\*м | Т | Т\*м | Т | Т\*м | Т | Т\*м | Т | Т\*м |
| 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 продавливание (вырывание) в месте примыкания стойки | 0,208 |
| 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** | N2 = 0 Т  M2 = 0 Т\*м  N3 = 0 Т  M3 = 0 Т\*м  N4 = 0 Т  M4 = 0 Т\*м  N5 = 0 Т  M5 = 0 Т\*м |
| --- | --- |
|  | |
| **Область изменения усилий** | -105,223 Т < N1 < 105,223 Т  -5,207 Т\*м < M1 < 5,207 Т\*м |

# 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.: Стандартинформ. 2008 – 20 с.