Содержание

Содержание 1
Введение 2
1. Сбор нагрузок 2
1.1. Результаты сбора нагрузок 4
2. Результаты расчёта стальных конструкций стропильных ферм на действующие нагрузки 14
3. Результаты расчёта стальных конструкций стропильных ферм на нагрузки от размещения оборудования 17
4. Результаты расчёта стальных балок Б4 на нагрузки от размещения оборудования 20
5. Основные выводы по результатам расчётов 27
Приложение №1. Копии СРО и лицензий программного обеспечения 28

Введение

Настоящая работа выполнена для оценки несущей способности стальных элементов стропильных ферм и стальных балок покрытия при размещении оборудования на кровле здания по адресу: г. Москва, пл. Смоленская-Сенная, д. 28.

1. Сбор нагрузок

Сбор нагрузок выполнен на основании требований следующих нормативных документов:

- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия (Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*);
- СП 16.13330.2017 Стальные конструкции (Актуализированная редакция СНиП II-23-81*);
- Данных о массе оборудования на кроле, предоставленных заказчиком.

При расчётах объемный вес монолитного железобетона определен в соответствии с МДС 81-38.2004 и составляет для железобетонных конструкций – 2500 кг/м^3; для конструкций из каменной кладки – 1800 кг/м^3.

Объёмные веса остальных элементов конструкций приняты на основании технических данных производителей, а также на основании справочных таблиц весов строительных материалов. Макаров Е.В., Светлаков Н.Д. М.: Издательство литературы по строительству, 1971 год.

Равномерно распределённые нагрузки по площади от конструкций покрытия приняты в кг/м^2 (согласно ГОСТ 8.417-2002 указанные единицы допускаются к применению без ограничения срока наравне с единицами СИ). При необходимости перейти к единицам измерения СИ рекомендуются следующие соотношения: 1000 кг/ м^2 = 10 кН/ м^2 = 10 кПа.

В расчете рассматриваются следующие виды нагрузок:

- собственный вес несущих конструкций;
- постоянные нагрузки от конструкций перекрытий и покрытия;
- кратковременные (полные и пониженные) снеговые нагрузки с учетом характера покрытия и возможных локальных снеговых мешков.

Расчёты стальных конструкций покрытия под оборудование на кровле производились с использованием программного комплекса SCAD 21.1 (номер лицензии №12936, сертификат соответствия RA.RU.АБ86.Н01187), оформление расчётов осуществлялось при помощи программы NormCAD 5.4 ООО ЦРСАП "САПРОТОН".

Сбор нагрузок в ручном режиме производился поэтапно с учётом грузовых площадей, данных технической документации и рекомендаций СП20.13330.2016.

При применении программного комплекса SCAD 21.1 собственный вес несущих конструкций, а также линейно распределенные нагрузки от ограждающих стен и перегородок учтены расчетной программой в автоматическом режиме исходя из заданных характеристик материалов и коэффициентов запаса по нагрузке (1.05 для несущих стальных конструкций и 1.2–1.3 — для остальных).

Снеговая нагрузка на покрытия принята в соответствии с требованиями норм для IV снегового района с коэффициентом надежности по нагрузке 1.4. В локальных зонах у парапетов, в местах примыкания к покрытию вертикальных конструкций учтено возможное образование снеговых мешков путем умножения расчетной снеговой нагрузки на определенный для каждого случая в соответствии с нормами коэффициент μ.

Нормативное значение веса снегового покрова на 1м^2 горизонтальной поверхности для города Москвы принято 145 кг/м^2 (1,45 кПа), на основании таблицы К.1 приложения К СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (введено Изменением N 2, утв. Приказом Минстроя России от 28.01.2019 N 49/пр.).

Нормативное значение ветрового давления принято 23 кг/м^2, на основании таблицы 11.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия).

1.1. Результаты сбора нагрузок

Основные значения постоянных и кратковременных нагрузок приведены в таблице 1.1 на основании данных обследования.

НАГРУЗКА НА 1 м2 ПОКРЫТИЯ — Таблица 1.1

№ п/п	СОСТАВ ПЕРЕКРЫТИЯ	ТОЛЩИНА СЛОЯ, мм	ОБЪЕМНЫЙ ВЕС, кг/м^3	НОРМАТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, кг/м^2	КОЭФФИЦИЕНТ НАДЕЖНОСТИ	РАСЧЕТНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, кг/м^2
1	гидроизоляция рулонная 2 слоя			15	1.30	19.5
2	теплоизоляционные минераловатные плиты	150	200	30	1.30	39
4	профилированный лист Н75-750-0.7			9.8	1.05	10.29
5	подвесной потолок	25	1200	30	1.30	39
6	ВСЕГО ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКИ			84.8		107.8
7	Снеговая по СП20.13330.2016			145.0	1.40	203.0

	шаг ферм (среднее значение)	2.16	м	нормативная, т/м	расчетная, т/м
	постоянная нагрузка			0.18	0.23
	снеговая			0.31	0.44

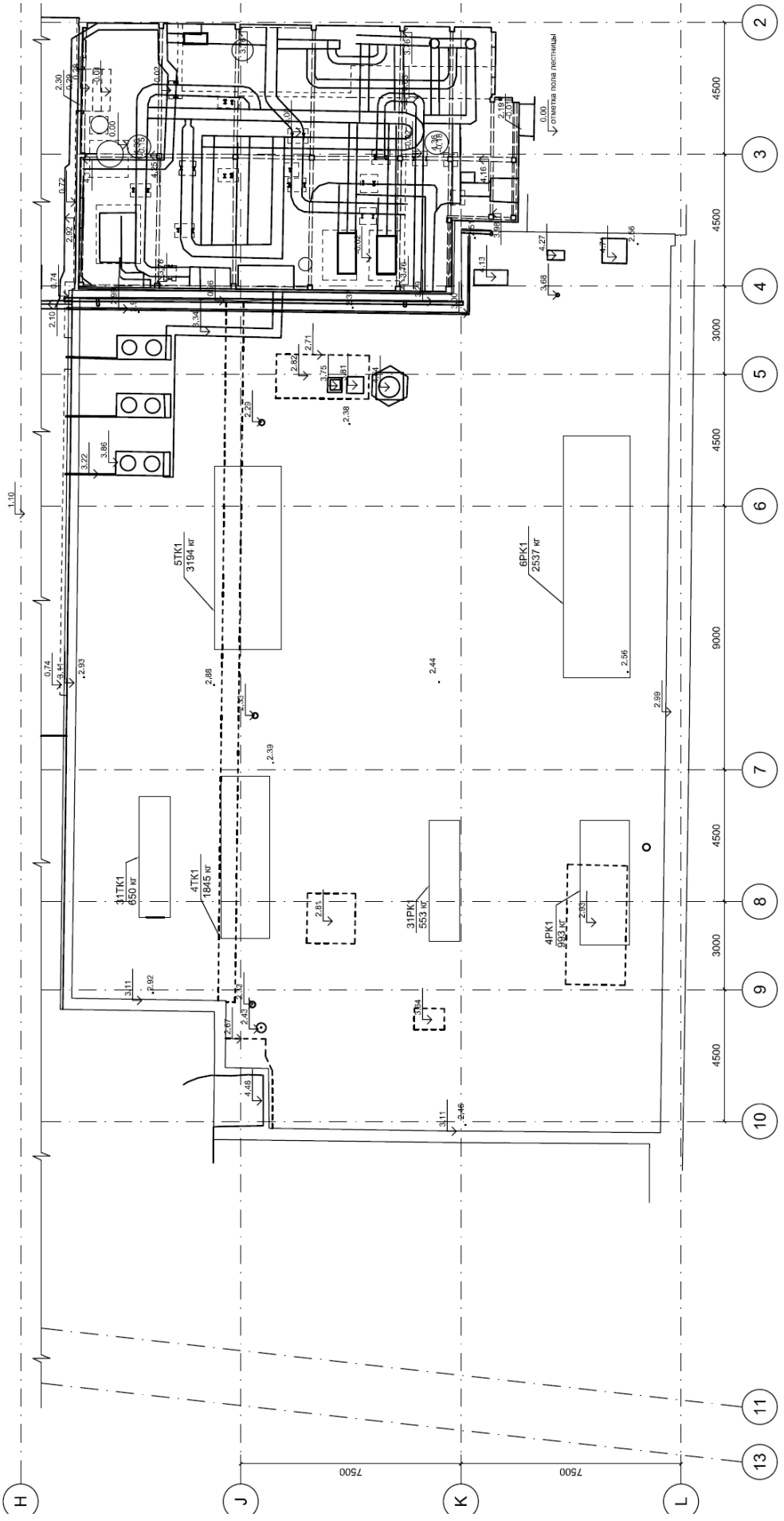


Рис. 1.1. План кровли с расположением оборудования с указанием массы оборудования

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Приложение №4.	Лист 5

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подпись и дата

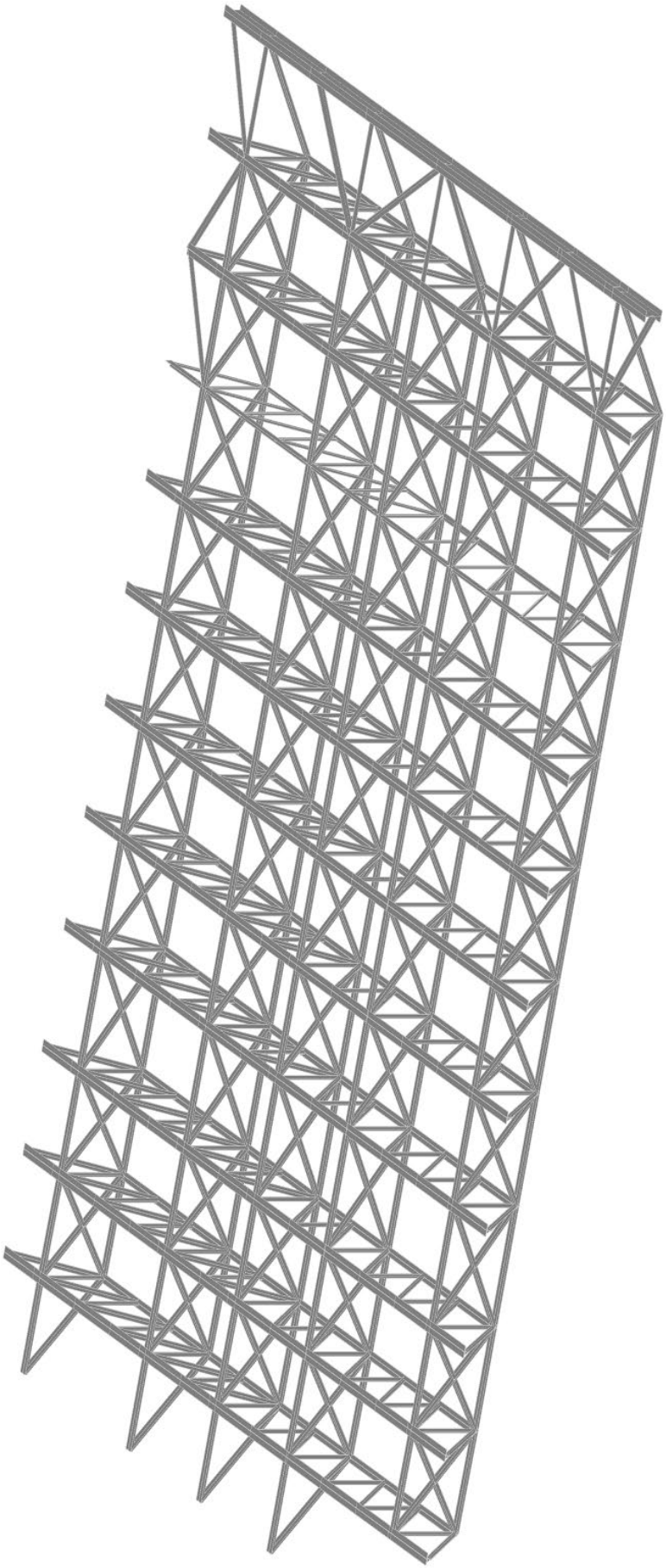


Рис. 1.2. Расчетная схема конструкций ферм

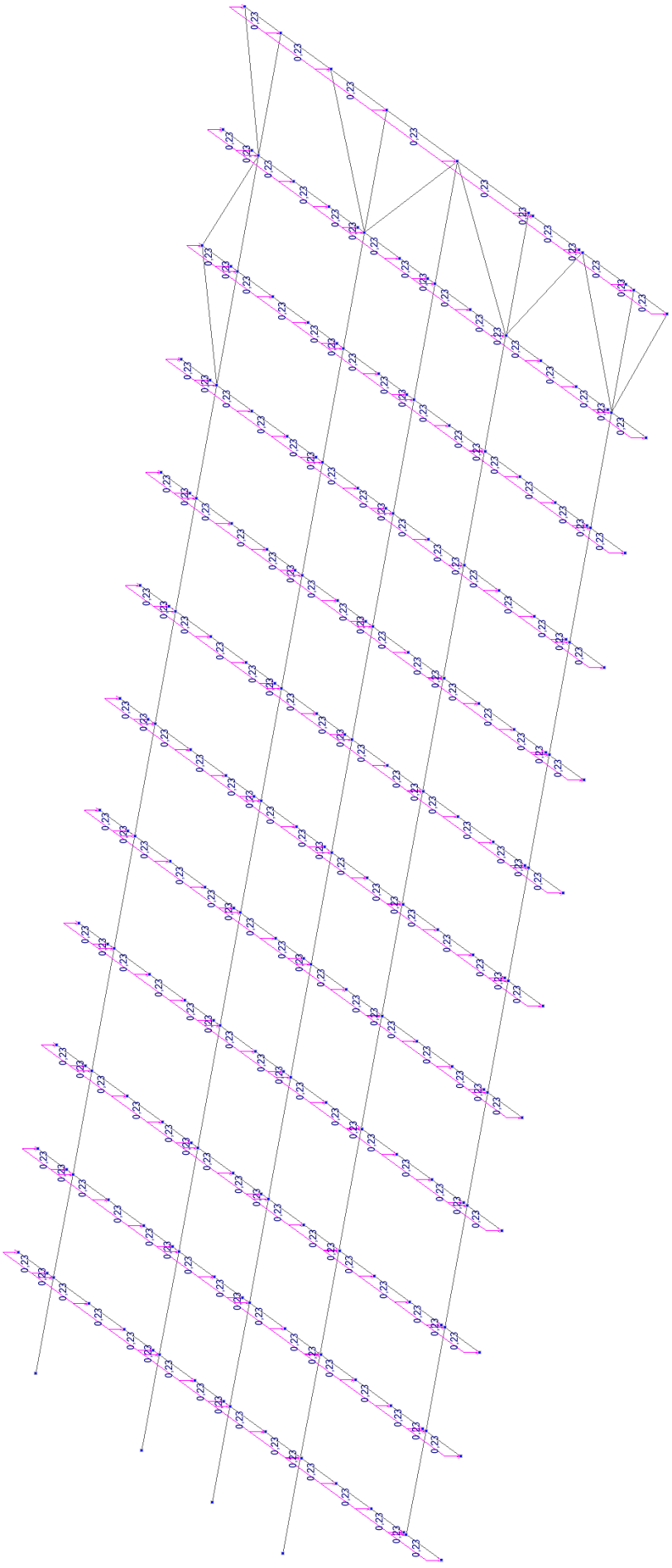


Рис. 1.3. Постоянные нагрузки на конструкции верхнего пояса ферм, тс/м

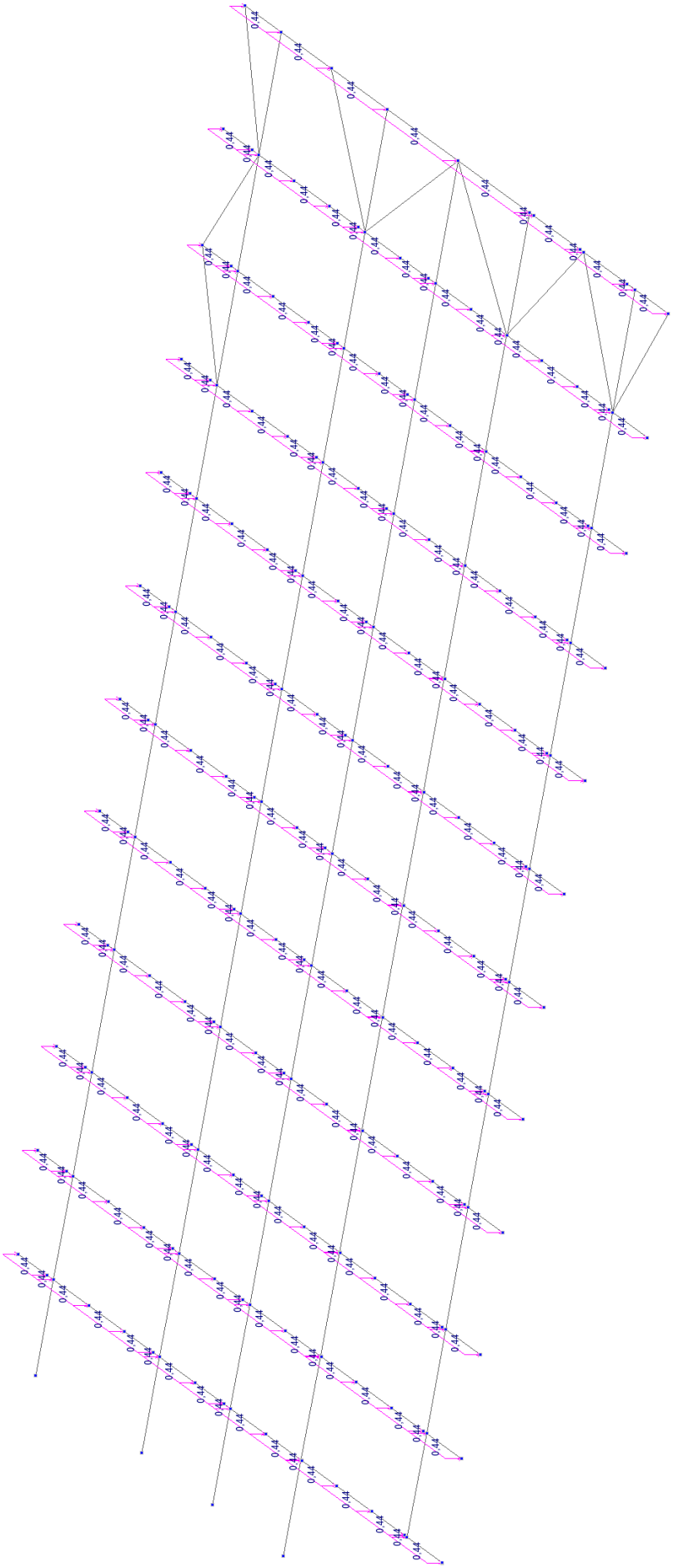


Рис. 1.4. Кратковременные нагрузки на конструкции верхнего пояса ферм, тс/м

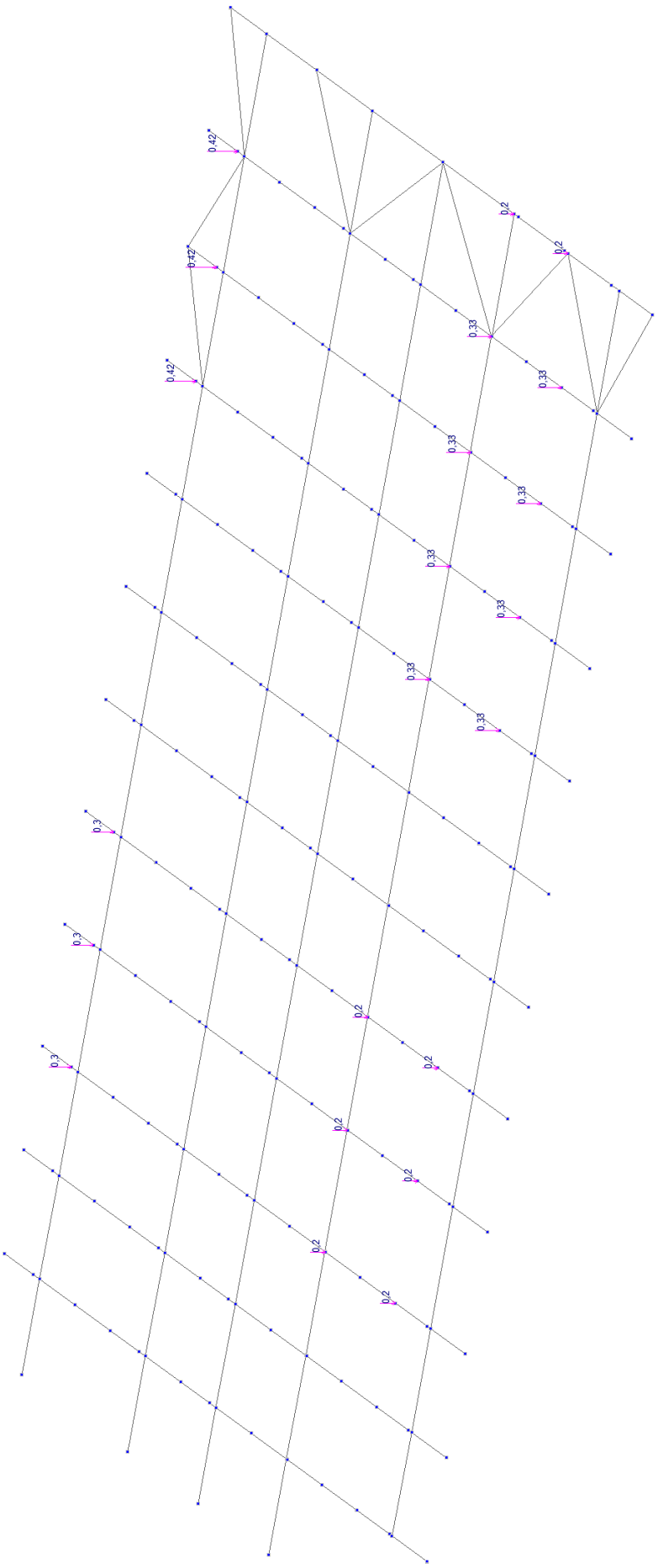


Рис. 1.5. Нагрузки, приложенные в узлах стропильных ферм от оборудования, тс

Имена загружений	
Номер	Наименование
1	собственный вес
2	постоянная на покрытие
3	снеговая на покрытие
4	оборудование

Комбинации загружений	
Номер	Формула
1	(L1)*1+(L2)*1+(L3)*1
2	(L1)*1+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1

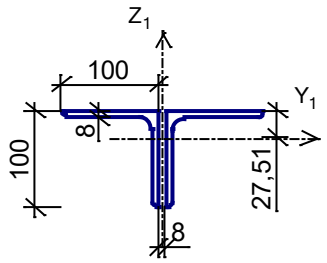
Расчётные сочетания усилий

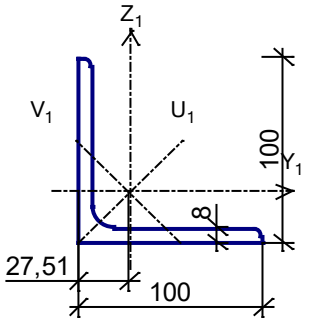
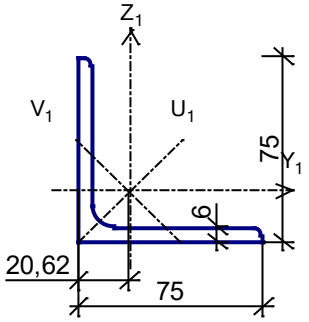
Загружения

	Активное загружение	Активное загружение в РСП	Наименование	Тип загружения	Вид нагрузки	Знакопеременные	Участвуют в групповых операциях: Объединения	Взаимоисключени	Сопутствия		Коэф. надежности	Доля длительности
1	☑	☑	собственный вес	Постоянные на	Вес металличес	☐	☐	☐	☐	☐	1,05	1
2	☑	☑	постоянная на пок	Постоянные на	Вес бетонных (	☐	☐	☐	☐	☐	1,1	1
3	☑	☑	снеговая на покры	Кратковременн	Полные снегови	☐	☐	☐	☐	☐	1,4	0,7
4	☑	☑	оборудование	Длительные на	Вес стационарн	☐	☐	☐	☐	☐	1,05	1

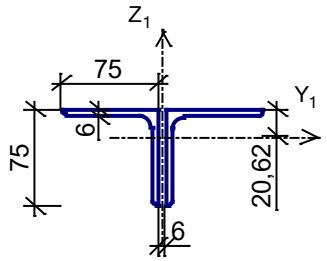
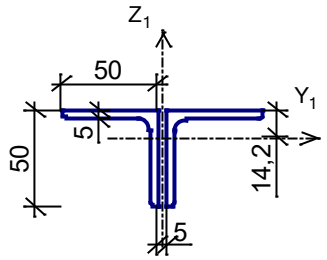
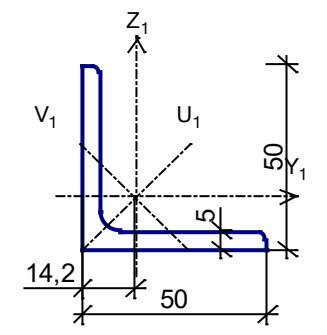
Жесткости

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

Жесткости		
Тип	Жесткость	Изображение
1	Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката (составное) Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ.. Семейство: Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 Профиль: L100x8 Сталь С245 Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м^2 Коэффициент Пуассона ν = 0,3 Объемный вес ρ = 7,85 Т/м^3 Коэффициент температурного расширения α = 1,2e-005 Продольная жесткость EF = 65520 Т Изгибная жесткость (ось Y) EI_y = 61,82 Т*м^2 Изгибная жесткость (ось Z) EI_z = 126,83 Т*м^2 Сдвиговая жесткость (ось Y) GF_y = 9816,6 Т Сдвиговая жесткость (ось Z) GF_z = 9349,41 Т Крутильная жесткость GI_{kp} = 0,5 Т*м^2 Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) a_{u+} = 1,86 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) a_{u-} = 1,86 см Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) a_{v+} = 3,43 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) a_{v-} = 1,3 см	

Жесткости		
Тип	Жесткость	Изображение
2	Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ.. Семейство: Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 Профиль: L100x8 Сталь С245 Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м^2 Коэффициент Пуассона ν = 0,3 Объемный вес ρ = 7,85 Т/м^3 Коэффициент температурного расширения α = 1,2e-005 Продольная жесткость EF = 32760 Т Изгибная жесткость (ось Y) EI_y = 49,03 Т*м^2 Изгибная жесткость (ось Z) EI_z = 12,79 Т*м^2 Сдвиговая жесткость (ось Y) GF_y = 10080 Т Сдвиговая жесткость (ось Z) GF_z = 10080 Т Крутильная жесткость GI_{kp} = 0,25 Т*м^2 Угол наклона главных осей инерции α = 45 град Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) a_{u+} = 0,54 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) a_{u-} = 1 см Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) a_{v+} = 2,12 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) a_{v-} = 2,12 см	
3	Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ.. Семейство: Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 Профиль: L75x6 Сталь С245 Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м^2 Коэффициент Пуассона ν = 0,3 Объемный вес ρ = 7,85 Т/м^3 Коэффициент температурного расширения α = 1,2e-005 Продольная жесткость EF = 18438 Т Изгибная жесткость (ось Y) EI_y = 15,51 Т*м^2 Изгибная жесткость (ось Z) EI_z = 4,05 Т*м^2 Сдвиговая жесткость (ось Y) GF_y = 5673,23 Т Сдвиговая жесткость (ось Z) GF_z = 5673,23 Т Крутильная жесткость GI_{kp} = 0,08 Т*м^2 Угол наклона главных осей инерции α = 45 град Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) a_{u+} = 0,4 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) a_{u-} = 0,75 см Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) a_{v+} = 1,59 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) a_{v-} = 1,59 см	

Жесткости

Тип	Жесткость	Изображение
4	Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката (составное) Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ.. Семейство: Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 Профиль: L75x6 Сталь С245 Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м^2 Коэффициент Пуассона ν = 0,3 Объемный вес ρ = 7,85 Т/м^3 Коэффициент температурного расширения α = 1,2e-005 Продольная жесткость EF = 36876 Т Изгибная жесткость (ось Y) EI_y = 19,56 Т*м^2 Изгибная жесткость (ось Z) EI_z = 40,1 Т*м^2 Сдвиговая жесткость (ось Y) GF_y = 5520,64 Т Сдвиговая жесткость (ось Z) GF_z = 5262,92 Т Крутильная жесткость GI_{kp} = 0,16 Т*м^2 Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) a_{u+} = 1,39 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) a_{u-} = 1,39 см Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) a_{v+} = 2,57 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) a_{v-} = 0,98 см	
5	Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката (составное) Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ.. Семейство: Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 Профиль: L50x5 Сталь С245 Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м^2 Коэффициент Пуассона ν = 0,3 Объемный вес ρ = 7,85 Т/м^3 Коэффициент температурного расширения α = 1,2e-005 Продольная жесткость EF = 20160 Т Изгибная жесткость (ось Y) EI_y = 4,7 Т*м^2 Изгибная жесткость (ось Z) EI_z = 10,33 Т*м^2 Сдвиговая жесткость (ось Y) GF_y = 3208,28 Т Сдвиговая жесткость (ось Z) GF_z = 2882,86 Т Крутильная жесткость GI_{kp} = 0,06 Т*м^2 Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) a_{u+} = 0,98 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) a_{u-} = 0,98 см Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) a_{v+} = 1,64 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) a_{v-} = 0,65 см	
6	Жесткость стержневых элементов - профиль металлопроката Каталог: Полный каталог профилей ГОСТ.. Семейство: Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 Профиль: L50x5 Сталь С245 Модуль упругости E = 21000000,77 Т/м^2 Коэффициент Пуассона ν = 0,3 Объемный вес ρ = 7,85 Т/м^3 Коэффициент температурного расширения α = 1,2e-005 Продольная жесткость EF = 10080 Т Изгибная жесткость (ось Y) EI_y = 3,73 Т*м^2 Изгибная жесткость (ось Z) EI_z = 0,97 Т*м^2	

Жесткости		
Тип	Жесткость	Изображение
	Сдвиговая жесткость (ось Y) GF_y = 3101,54 Т Сдвиговая жесткость (ось Z) GF_z = 3101,54 Т Крутильная жесткость GI_{kp} = 0,03 Т*м^2 Угол наклона главных осей инерции α = 45 град Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U) a_{u+} = 0,27 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U) a_{u-} = 0,48 см Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V) a_{v+} = 1,05 см Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V) a_{v-} = 1,05 см	

2. Результаты расчёта стальных конструкций стропильных ферм на действующие нагрузки

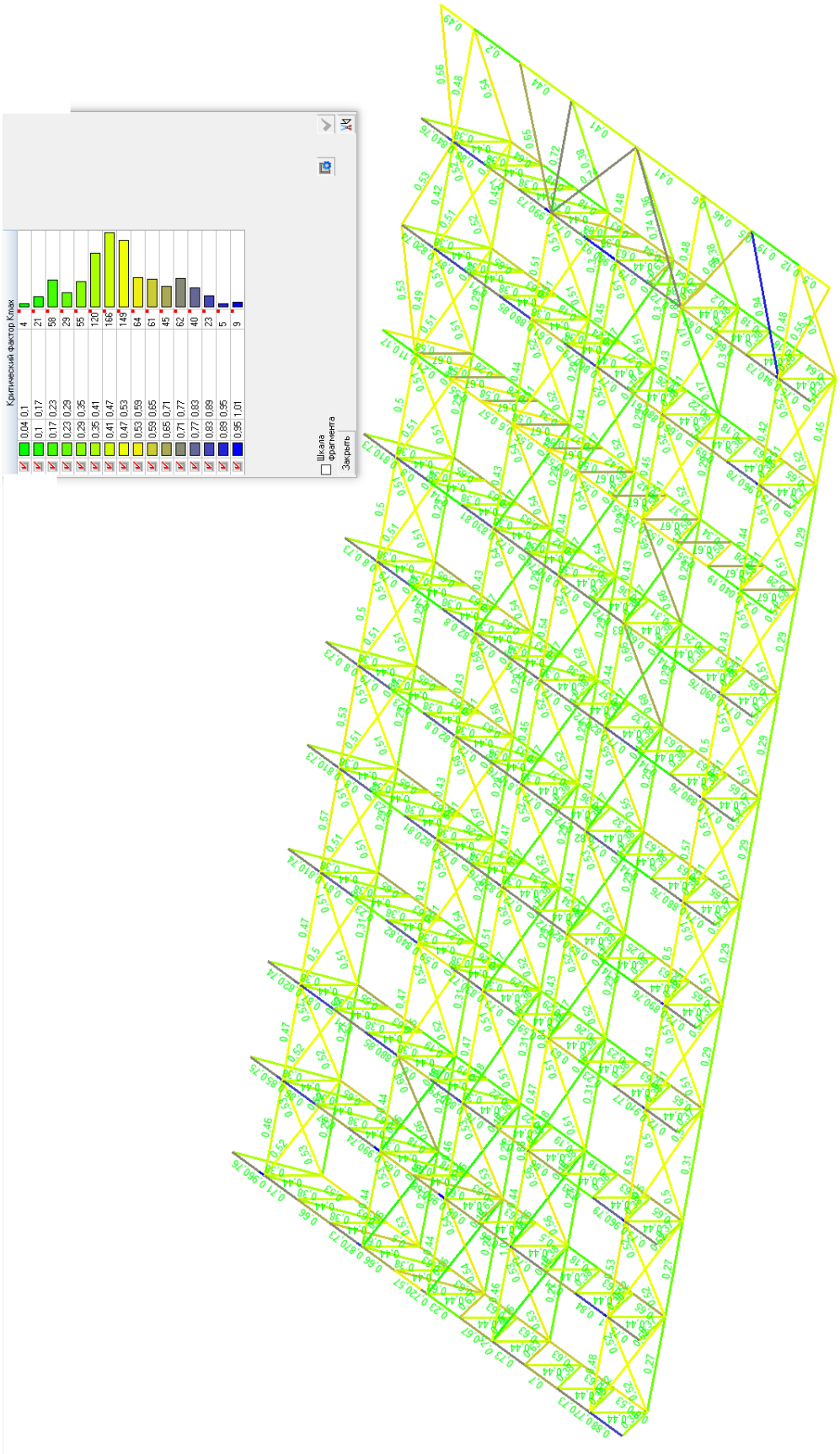


Рис. 2.1. Коэффициенты использования сечений стальных элементов (при значении коэффициент больше 1, сечение не проходит по расчётному критерию).

Экстремальные значения факторов. Верхний пояс ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	0,04	L1+L2+L3	0,15	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	1,3e-004	L1+L2	0,07	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	1,43e-005	L1+L2+L3	0,06	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	0,02	L1+L2+L3	0,03	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,05	L1+L2+L3	0,14	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,05	L1+L2+L3	0,15	L1+L2+L3
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	1,26e-004	L1+L2+L3	0,08	L1+L2+L3
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	1,39e-004	L1+L2+L3	0,09	L1+L2+L3
пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2	Устойчивость в плоскости действия момента Mz при внецентренном сжатии	7,13e-004	L1+L2+L3	0,1	L1+L2+L3
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	2,29e-003	L1+L2	0,13	L1+L2
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	4,1e-003	L1+L2	0,23	L1+L2
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,57	L1+L2+L3	1,01	L1+L2+L3

Экстремальные значения факторов. Нижний пояс

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	0,01	L1+L2+L3	0,1	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	6,87e-004	L1+L2+L3	0,13	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	1,18e-005	L1+L2+L3	0,01	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	1,2e-003	L1+L2+L3	0,01	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,05	L1+L2+L3	0,38	L1+L2+L3
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,01	L1+L2+L3	0,13	L1+L2+L3
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,01	L1+L2+L3	0,18	L1+L2+L3
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,5	L1+L2	0,8	L1+L2

Экстремальные значения факторов.Раскосы ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	0,01	L1+L2	0,05	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	7,56e-004	L1+L2+L3	0,03	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	5,47e-006	L1+L2+L3	5,81e-004	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	1,19e-003	L1+L2+L3	2,59e-003	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,01	L1+L2+L3	0,2	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,03	L1+L2+L3	0,16	L1+L2+L3
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,01	L1+L2+L3	0,22	L1+L2+L3
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,02	L1+L2+L3	0,34	L1+L2+L3
пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2	Устойчивость в плоскости действия момента Mz при внецентренном сжатии	0,01	L1+L2+L3	0,22	L1+L2+L3
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,26	L1+L2+L3	0,43	L1+L2
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,38	L1+L2+L3	0,63	L1+L2
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,29	L1+L2	0,41	L1+L2

Экстремальные значения факторов. Стойки ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	4,04e-004	L1+L2+L3	0,02	L1+L2
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	4,14e-004	L1+L2+L3	0,15	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	2,07e-005	L1+L2+L3	0,01	L1+L2+L3
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	5,28e-006	L1+L2+L3	6,58e-004	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,08	L1+L2+L3	0,09	L1+L2+L3
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,02	L1+L2+L3	0,36	L1+L2+L3
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,02	L1+L2+L3	0,27	L1+L2+L3
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,02	L1+L2+L3	0,34	L1+L2+L3
пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2	Устойчивость в плоскости действия момента Mz при внецентренном сжатии	0,02	L1+L2+L3	0,34	L1+L2+L3
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,18	L1+L2+L3	0,29	L1+L2
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,26	L1+L2+L3	0,44	L1+L2
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,34	L1+L2	0,43	L1+L2+L3

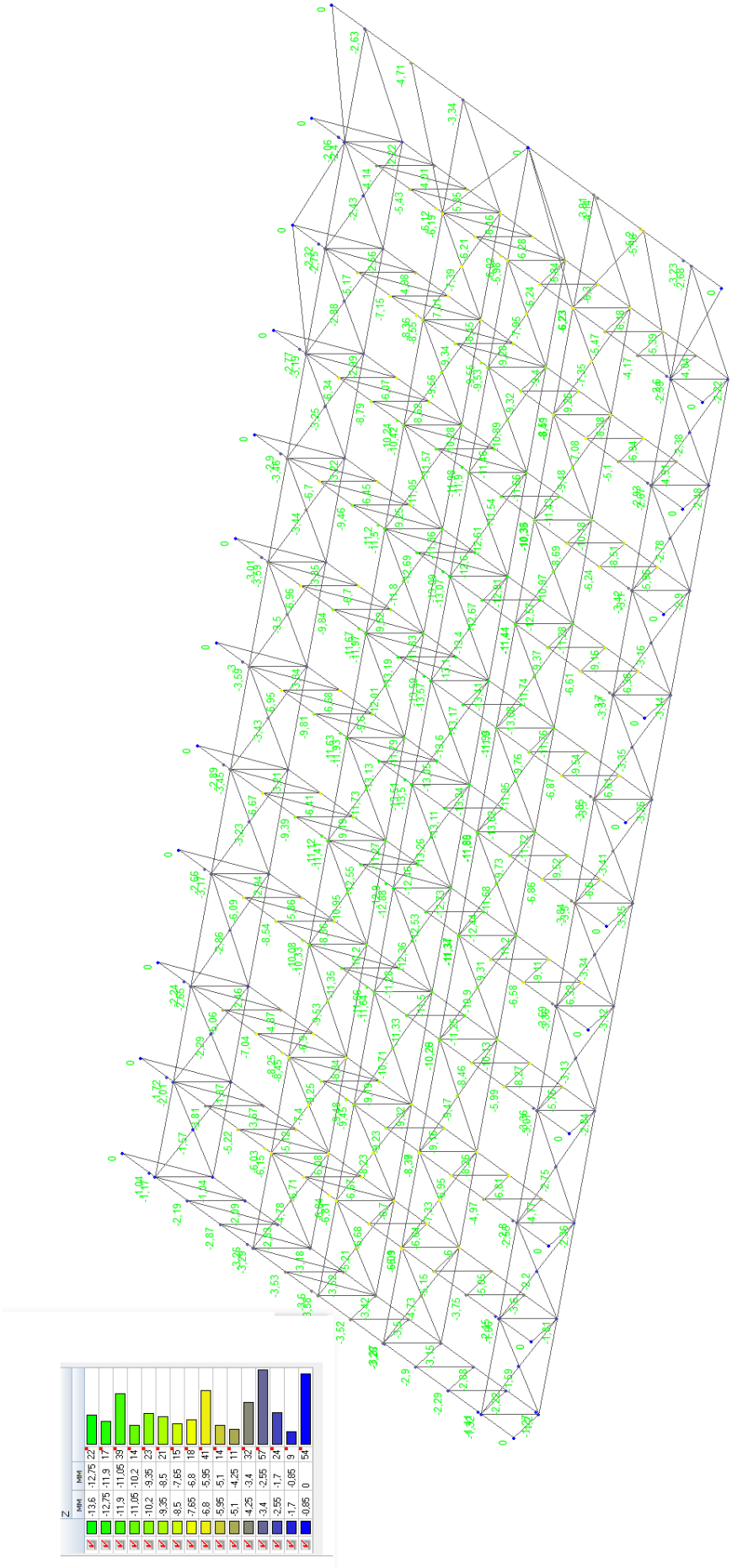


Рис. 2.2. Значения прогибов конструкций, мм

3. Результаты расчёта стальных конструкций стропильных ферм на нагрузки от размещения оборудования

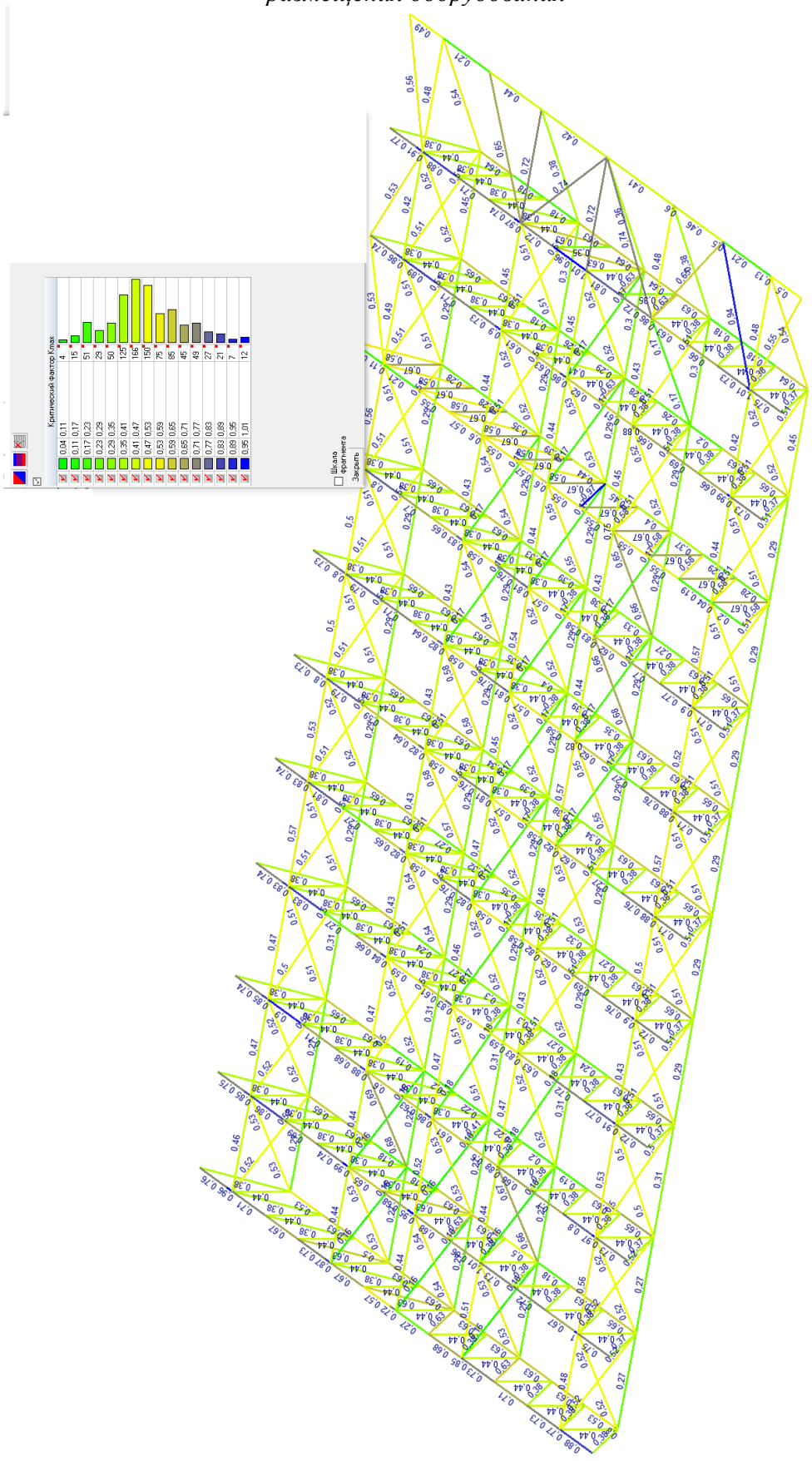


Рис. 3.1. Коэффициенты использования сечений стальных элементов (при значении коэффициент больше 1, сечение не проходит по расчётному критерию).

Экстремальные значения факторов. Верний пояс ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	0,05	L1+L2+L3	0,2	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	9,77e-004	L1+L2+L3+L4	0,09	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	1,61e-005	L1+L2+L3	0,08	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	0,03	L1+L2+L3+L4	0,08	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,02	L1+L2+L4	0,16	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,02	L1+L2+L4	0,17	L1+L2+L3+L4
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	1,46e-004	L1+L2+L3	0,1	L1+L2+L3+L4
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	1,54e-004	L1+L2+L4	0,11	L1+L2+L3+L4
пп. 9.2.2, 9.2.10	Устойчивость в плоскости действия момента My при внецентренном сжатии	1,51e-003	L1+L2+L4	1,58e-003	L1+L2+L4
пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2	Устойчивость в плоскости действия момента Mz при внецентренном сжатии	3,49e-004	L1+L2+L4	0,12	L1+L2+L3+L4
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	3,43e-003	L1+L2	0,19	L1+L2+L4
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	4,92e-003	L1+L2	0,27	L1+L2+L4
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,55	L1+L2+L4	1,01	L1+L2+L3+L4

Экстремальные значения факторов. Нижний пояс ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	0,01	L1+L2+L3	0,11	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	7,21e-004	L1+L2+L3	0,13	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	2,25e-005	L1+L2	0,01	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	1,23e-003	L1+L2+L4	0,01	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,05	L1+L2+L3+L4	0,41	L1+L2+L3+L4
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,01	L1+L2+L3+L4	0,13	L1+L2+L3+L4
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,01	L1+L2+L3+L4	0,18	L1+L2+L3+L4
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,5	L1+L2	0,8	L1+L2+L4

Экстремальные значения факторов. Раскосы ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	0,01	L1+L2+L4	0,05	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	1,07e-003	L1+L2+L3+L4	0,03	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	4,95e-006	L1+L2+L3+L4	6,15e-004	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	1,19e-003	L1+L2+L3	2,67e-003	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,01	L1+L2+L3+L4	0,22	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,02	L1+L2+L4	0,2	L1+L2+L3+L4
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	3,27e-003	L1+L2+L4	0,27	L1+L2+L3+L4
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	4,93e-003	L1+L2+L4	0,41	L1+L2+L3+L4
пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2	Устойчивость в плоскости действия момента Mz при внецентренном сжатии	3,58e-003	L1+L2+L4	0,27	L1+L2+L3+L4
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,26	L1+L2+L3+L4	0,43	L1+L2
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,38	L1+L2+L3+L4	0,63	L1+L2
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,29	L1+L2	0,41	L1+L2

Экстремальные значения факторов. Стойки ферм

Проверка	Фактор	Значение	Комбинация	Значение	Комбинация
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента My	4,65e-004	L1+L2+L3+L4	0,02	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии изгибающего момента Mz	1,1e-003	L1+L2+L3	0,15	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qy	6,65e-005	L1+L2+L3	0,01	L1+L2+L3+L4
п. 8.2.1	Прочность при действии поперечной силы Qz	5,28e-006	L1+L2+L3	7,79e-004	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,09	L1+L2+L3	0,11	L1+L2+L3+L4
п. 9.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,02	L1+L2+L3+L4	0,38	L1+L2+L3+L4
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,02	L1+L2+L3+L4	0,3	L1+L2+L3+L4
п. 7.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,02	L1+L2+L3+L4	0,37	L1+L2+L3+L4
пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2	Устойчивость в плоскости действия момента Mz при внецентренном сжатии	0,02	L1+L2+L3	0,36	L1+L2+L3+L4
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,18	L1+L2+L3	0,29	L1+L2
п. 10.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,26	L1+L2+L3	0,44	L1+L2
пп. 7.3.8, 7.3.11, 8.5.18, 9.4.7, 9.4.9	Предельная гибкость полки из условия местной устойчивости	0,34	L1+L2+L4	0,43	L1+L2+L3+L4

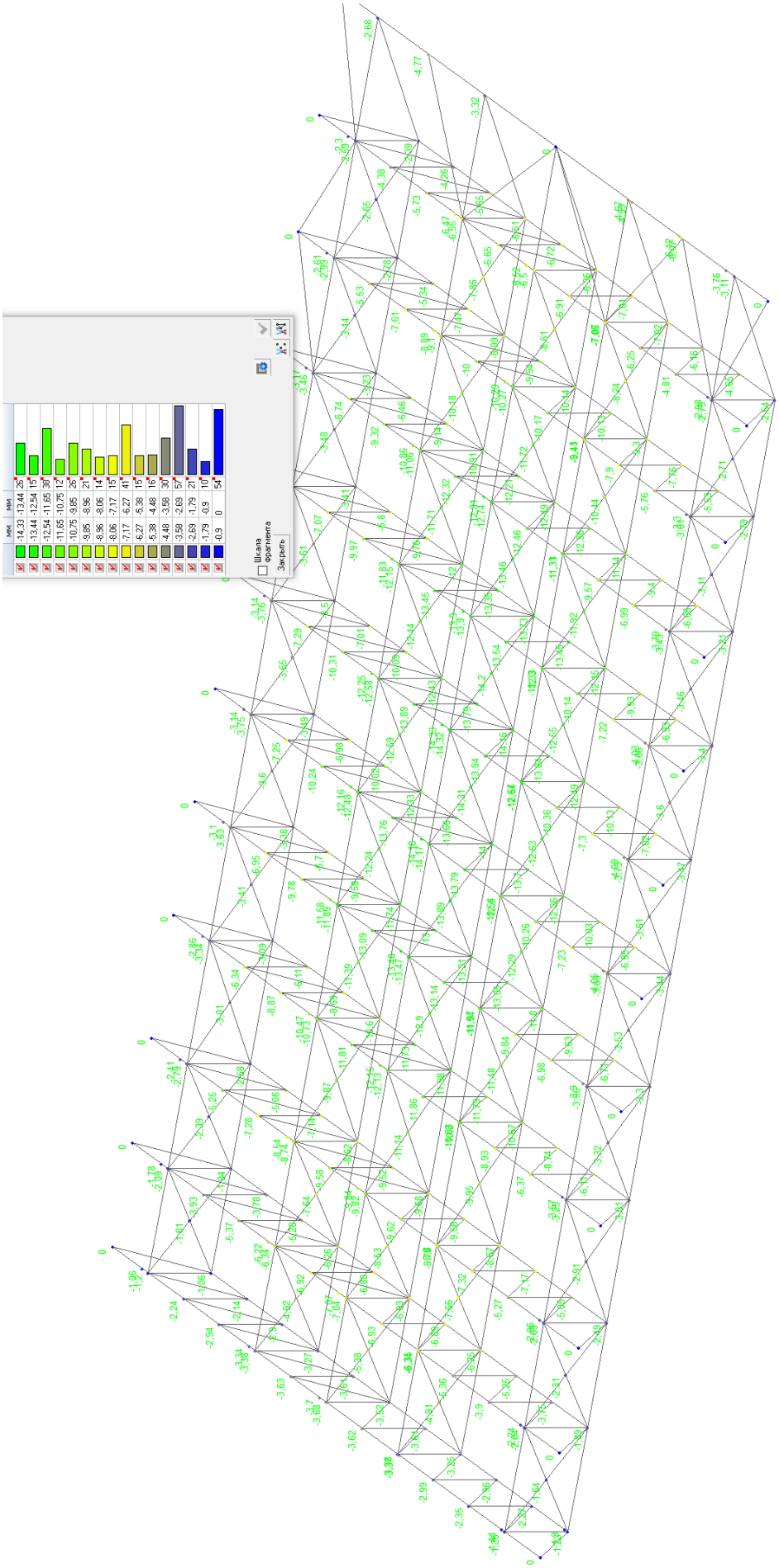


Рис. 3.2. Значения прогибов конструкций, мм

4. Результаты расчёта стальных балок Б4 на нагрузки от размещения оборудования

НАГРУЗКА НА 1 м2 ПОКРЫТИЯ						Таблица 4.1
№ п/п	СОСТАВ ПЕРЕКРЫТИЯ	ТОЛЩИНА СЛОЯ, мм	ОБЪЕМНЫЙ ВЕС, кг/м^3	НОРМАТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, кг/м^2	КОЭФФИЦИЕНТ НАДЕЖНОСТИ	РАСЧЕТНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, кг/м^2
1	гидроизоляция рулонная 2 слоя			15	1.30	19.5
2	теплоизоляционные минераловатные плиты	150	200	30	1.30	39
4	профилированный лист Н75-750-0.7			9.8	1.05	10.29
5	подвесной потолок	25	1200	30	1.30	39
6	ВСЕГО ПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКИ			84.8		107.8
7	Снеговая по СП20.13330.2016			145.0	1.40	203.0
	шаг балок	3	м	нормативная, т/м		расчетная, т/м
	постоянная нагрузка			0.25		0.32
	снеговая			0.44		0.61
	полная нагрузка			0.69		0.93

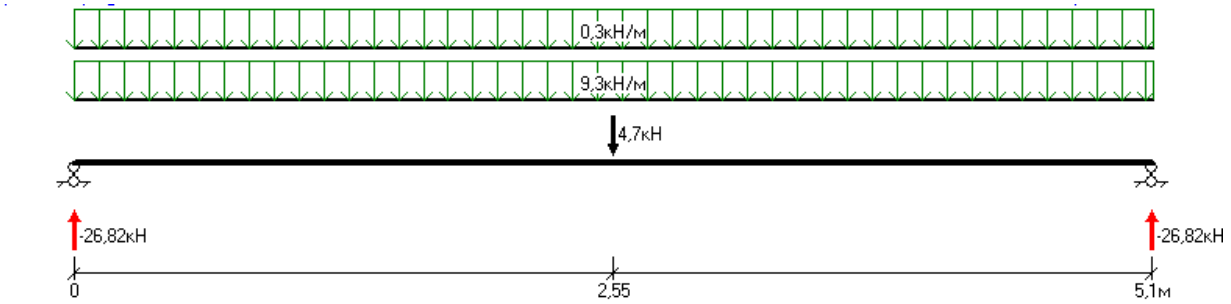


Рис.4.1. Расчётная схема балки

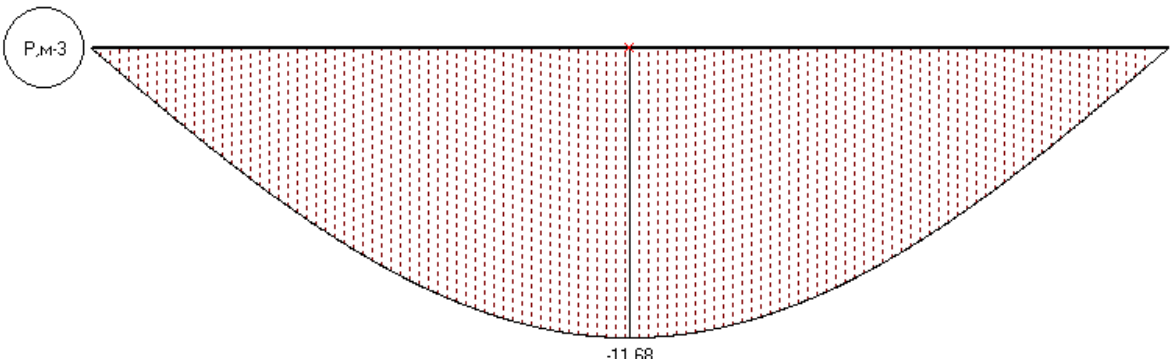


Рис.4.2. Эпюра прогибов [м-3]

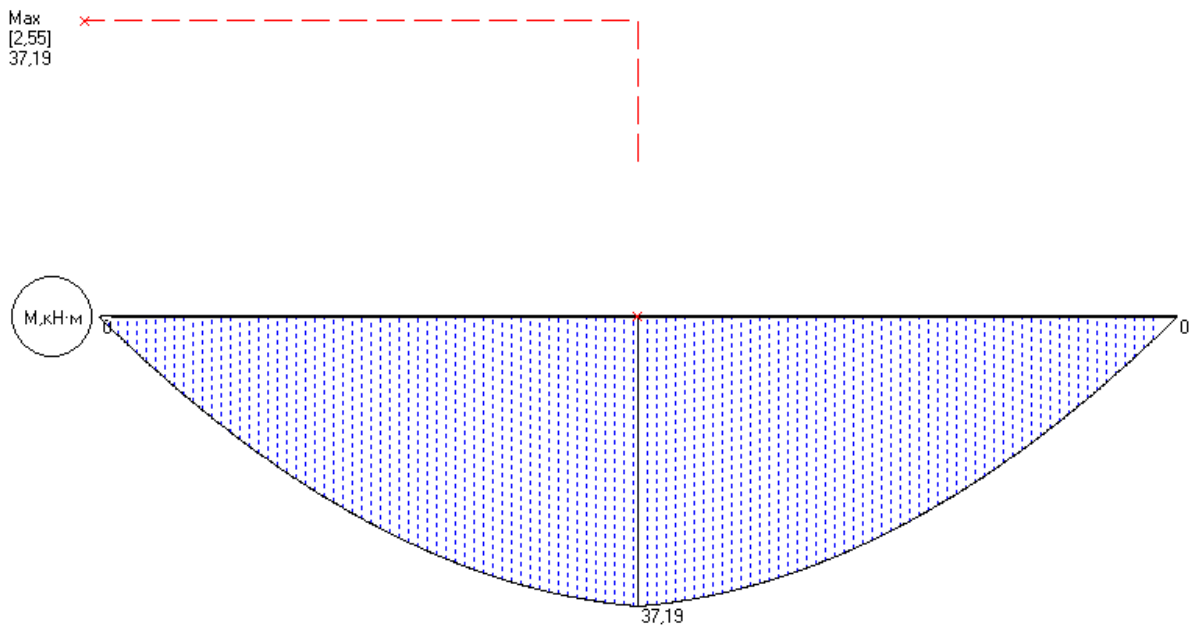


Рис.4.3. Эпюра изгибающих моментов [кН·м]

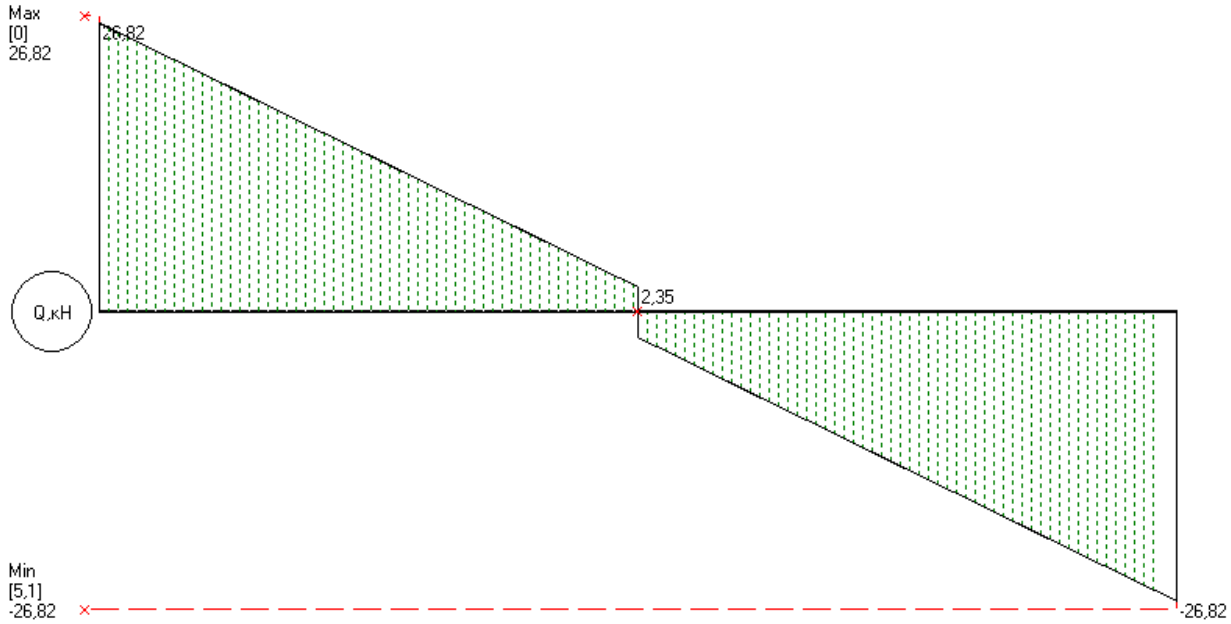


Рис.4.4. Эпюра поперечных сил [кН]

Расчёт балки без раскрепления из плоскости

Исходные данные:

Геометрические размеры элемента:

- l_{efy} = 5100 мм;

Нагрузка:

- M_x = 3,72 тс м = 3,72 / 0,000000101972 = 36480602,51834 Н мм;
- Q_x = 2,72 тс = 2,72 / 0,00010197162123 = 26674,08802 Н;

Физические характеристики:

- G = 78500 МПа;
- E = 210000 МПа;

Прочность:

(Вид металла - Фасонный прокат; Сталь и толщина металла - С245; t = от 4 до 20 включ. мм):

- R_{yn} = 245 МПа;
- R_{un} = 370 МПа;
- R_y = 235 МПа;
- R_u = 350 МПа;
- R_s = 136 МПа;

Коэффициенты надежности и условия работы:

- g_c = 0,9 ;
- g_u = 1,3 ;

Основные характеристики сечений:



(Сечение ветви - из сортамента; Характеристики сечения - Двутавры нормальные с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20-93; 25 Б2; Сечение - одноветвевое):

- h = 250 мм;
- b = 125 мм;
- t_w = 6 мм;
- t_f = 9 мм;
- r = 12 мм;
- A = 37,66 см ^{2} = 37,66 / 0,01 = 3766 мм ^{2};
- m = 29,5631 кг/м;
- J_x = 4052 см ^{4} = 4052 / 0,0001 = 40520000 мм ^{4};
- J_y = 293,8 см ^{4} = 293,8 / 0,0001 = 2938000 мм ^{4};
- W_{x1} = 324,2 см ^{3} = 324,2 / 0,001 = 324200 мм ^{3};
- W_{x2} = 324,2 см ^{3} = 324,2 / 0,001 = 324200 мм ^{3};
- W_{y1} = 47 см ^{3} = 47 / 0,001 = 47000 мм ^{3};
- W_{y2} = 47 см ^{3} = 47 / 0,001 = 47000 мм ^{3};
- S_x = 182,9 см ^{3} = 182,9 / 0,001 = 182900 мм ^{3};
- S_y = 36,2 см ^{3} = 36,2 / 0,001 = 36200 мм ^{3};
- J_t = 7,75 см ^{4} = 7,75 / 0,0001 = 77500 мм ^{4};
- a_{fwx} = 0,81 ;
- a_{fwy} = 0,62 ;

Результаты расчета:

1) Расчет на прочность разрезных балок 2-го и 3-го классов двутаврового и коробчатого сечений из стали с нормативным сопротивлением R_yr 440 МПа , несущих статическую нагрузку, с учетом развития пластических деформаций (при соблюдении требований п.п. 8.4.6;8.5.8;8.5.9;8.5.18.)

Ослабления стенки отверстиями - отсутствуют.

$W_{xn1} = W_{x1}$ = 324200 мм ^{3} = 324,2 см ^{3} .

$W_{xn2} = W_{x2}$ = 324200 мм ^{3} = 324,2 см ^{3} .

$W_{yn1} = W_{y1}$ = 47000 мм ^{3} = 47 см ^{3} .

$W_{yn2} = W_{y2}$ = 47000 мм ^{3} = 47 см ^{3} .

Ослабления стенки отверстиями для болтов - отсутствуют.

$t_x = Q_x/(t_w\ h) = 26674,08802/(6 \cdot 250) = 17,78273$.

Прогрессирующее разрушение - не рассматривается в данном расчете.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

m_{kp} = 1 .

$R_{yn} = m_{kp} R_{yn} = 1 \cdot 245 = 245$ МПа .

$R_{un} = m_{kp} R_{un} = 1 \cdot 370 = 370$ МПа .

$R_y = m_{kp} R_y = 1 \cdot 235 = 235$ МПа .

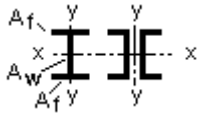
$R_u = m_{kp} R_u = 1 \cdot 350 = 350$ МПа .

$R_s = m_{kp} R_s = 1 \cdot 136 = 136$ МПа .

Сечение - не является опорным.

2) Коэффициенты для расчета на прочность элементов стальных конструкций с учетом развития пластических деформаций

Тип сечения по табл. Е.1 - 1.



По табл. Е.1 $c_x = 1,089$.

По табл. Е.1 $c_y = 1,47$.

По табл. Е.1 $n = 1,5$.

3) Продолжение расчета по п. п. 8.2.3 СП 16.13330.2017

$t_x = 17,78273$ МПа r $0,9 R_s = 0,9 \cdot 136 = 122,4$ МПа (14,52837**% от предельного значения**) - условие выполнено .

Изгиб - в одной из главных плоскостей.

Минимальные значения моментов сопротивления:

$W_{xnmin} = \min(W_{xn1} ; W_{xn2}) = \min(324200;324200) = 324200$ мм $^3 = 324,2$ см ^{3} .

Зона чистого изгиба - имеется.

$b = 1$.

$c_{xm} = 0,5 (1+c_x) = 0,5 \cdot (1+1,089) = 1,0445$ (формула (47); п. 8.2.3).

$M_x/(c_{xm} b W_{xnmin} R_y g_c) = 36480602,51834/(1,0445 \cdot 1 \cdot 324200 \cdot 235 \cdot 0,9) = 0,50937$ r 1 (50,93663**% от предельного значения**) - условие выполнено (формула (50); п. п. 8.2.3).

4) Проверка выполнения условий, при которых устойчивость балок требуется проверять

Условие п. 8.4.4 а (сжатый пояс надежно связан с жестким настилом) - не выполняется.

$l_{ef} = l_{efy} = 5100$ мм .

$h = h-t = 250-9 = 241$ мм .

Проверка выполнения условий

h /b = 241/125 = 1,928 t 1 (192,8**% от предельного значения**) - условие выполнено .

h /b = 241/125 = 1,928 r 6 (32,13333**% от предельного значения**) - условие выполнено .

b/t = 125/9 = 13,88889 r 35 (39,68254**% от предельного значения**) - условие выполнено .

$l_b = (l_{ef}/b) ; R_y/E = (5100/125) \cdot ; 235/210000 = 1,36485$.

Расчет на прочность - с учетом пластических деформаций.

5) Коэффициенты для расчета на прочность элементов стальных конструкций с учетом развития пластических деформаций

По табл. Е.1 $c_x = 1,089$.

По табл. Е.1 $c_y = 1,47$.

По табл. Е.1 $n = 1,5$.

$t_x = Q_x/(t_w h) = 26674,08802/(6 \cdot 250) = 17,78273$.

Т.к. $t_x = 17,78273$ МПа r $0,5 R_s = 0,5 \cdot 136 = 68$ МПа :

$b = 1$.

$c = c_x = 1,089$.

$c_{1x} = b c_x = 1 \cdot 1,089 = 1,089$.

$d = 1-0,6 (c_{1x}-1)/(c -1) =$

$= 1-0,6 \cdot (1,089-1)/(1,089-1) = 0,4$ (формула (76); п. 8.4.6).

6) Продолжение расчета по п. п. 8.4.4 СП 16.13330.2017

Т.к. b/t = 125/9 = 13,88889 < 15 :

При b/tr 15 в формулах (71) - (73) табл. 11 принимается b/t = 15:

Место приложения нагрузки - к верхнему поясу.

$l_{ub} = d (0,35+0,0032 \cdot 15+(0,76-0,02 \cdot 15) b/h) =$

$= 0,4 \cdot (0,35+0,0032 \cdot 15+(0,76-0,02 \cdot 15) \cdot 125/241) = 0,25464$ (формула (71); п. 8.4.4).

Т.к. $l_b = 1,36485 > l_{ub} = 0,25464$:

7) Расчет балок на устойчивость

Определение коэффициента для расчета устойчивости изгибаемых элементов

Определение коэффициента a

Сечение - прокатное.

$a = 1,54 J_t/J_y (l_{ef}/h)^2 =$

$= 1,54 \cdot 77500/2938000 \cdot (5100/250)^2 = 16,90561$ (формула (Ж.4); п. Ж.3 прил. Ж).

0,1 r a = 16,90561 (0,59152**% от предельного значения**) - условие выполнено .
a r 400 (4,2264**% от предельного значения**) - условие выполнено .
8) Продолжение расчета по прил. Ж
Определение коэффициента y по табл. Ж.1
Количество закреплений сжатого пояса в пролете - без закреплений.
Вид нагрузки - Равномерно распределенная к верхнему поясу.
По табл. Ж.1 y = 2,95245 .
9) Продолжение расчета по прил. Ж
Тип балки - прокатный двутавр.
Определение коэффициента f_1 по формуле (Ж.3)
$f_1 = y\ J_y/J_x\ (h/l_{ef})^2\ E/(R_y) =$
$= 2,95245 \cdot 2938000/40520000 \cdot (250/5100)^2 \cdot 210000/(235) = 0,45968$ (формула (Ж.3); п. Ж.2 прил. Ж).
Т.к. f_1 r 0,85 :
$f_b = f_1 = 0,45968$ (формула (Ж.1); п. Ж.2 прил. Ж).
10) Продолжение расчета по п. п. 8.4.1 СП 16.13330.2017
$W_{cx} = W_{x2} = 324200$ мм $^3 = 324,2$ см ^{3} .
$W_y = W_{y2} = 47000$ мм $^3 = 47$ см ^{3} .
Изгиб - в плоскости стенки, совпадающей с плоскостью симметрии сечения.
$M_x/(f_b\ W_{cx}\ R_y\ g_c) = 36480602,51834/(0,45968 \cdot 324200 \cdot 235 \cdot 0,9) = 1,1574$ r 1 (115,73988**% от предельного значения**) - **требуемое условие не выполняется!** (формула (69); п. п. 8.4.1).

Расчёт при раскреплении двутавра из плоскости

Исходные данные:

Геометрические размеры элемента:
- $l_{efy} = 5100$ мм;

Нагрузка:
- $M_x = 3,72$ тс м = 3,72 / 0,000000101972 = 36480602,51834 Н мм;
- $Q_x = 2,72$ тс = 2,72 / 0,00010197162123 = 26674,08802 Н;

Физические характеристики:
- G = 78500 МПа;
- E = 210000 МПа;

Прочность:
(Вид металла - Фасонный прокат; Сталь и толщина металла - С245; t = от 4 до 20 включ. мм):
- $R_{yn} = 245$ МПа;
- $R_{un} = 370$ МПа;
- $R_y = 235$ МПа;
- $R_u = 350$ МПа;
- $R_s = 136$ МПа;

Коэффициенты надежности и условия работы:
- $g_c = 0,9$;
- $g_u = 1,3$;

Основные характеристики сечений:



(Сечение ветви - из сортамента; Характеристики сечения - Двутавры нормальные с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20-93; 25 Б2; Сечение - одноветвевое):
- h = 250 мм;
- b = 125 мм;
- $t_w = 6$ мм;
- $t_f = 9$ мм;
- r = 12 мм;
- A = 37,66 см ^{2} = 37,66 / 0,01 = 3766 мм ^{2};
- m = 29,5631 кг/м;
- $J_x = 4052$ см ^{4} = 4052 / 0,0001 = 40520000 мм ^{4};
- $J_y = 293,8$ см ^{4} = 293,8 / 0,0001 = 2938000 мм ^{4};
- $W_{x1} = 324,2$ см ^{3} = 324,2 / 0,001 = 324200 мм ^{3};
- $W_{x2} = 324,2$ см ^{3} = 324,2 / 0,001 = 324200 мм ^{3};

- W_{y1} = 47 см ^{3} = 47 / 0,001 = 47000 мм ^{3};
- W_{y2} = 47 см ^{3} = 47 / 0,001 = 47000 мм ^{3};
- S_x = 182,9 см ^{3} = 182,9 / 0,001 = 182900 мм ^{3};
- S_y = 36,2 см ^{3} = 36,2 / 0,001 = 36200 мм ^{3};
- J_t = 7,75 см ^{4} = 7,75 / 0,0001 = 77500 мм ^{4};
- a_{fwx} = 0,81 ;
- a_{fwy} = 0,62 ;

Результаты расчета:

1) Расчет на прочность разрезных балок 2-го и 3-го классов двутаврового и коробчатого сечений из стали с нормативным сопротивлением R_yr 440 МПа , несущих статическую нагрузку, с учетом развития пластических деформаций (при соблюдении требований п.п. 8.4.6;8.5.8;8.5.9;8.5.18.)

Ослабления стенки отверстиями - отсутствуют.

$W_{xn1} = W_{x1}$ = 324200 мм ^{3} = 324,2 см ^{3} .

$W_{xn2} = W_{x2}$ = 324200 мм ^{3} = 324,2 см ^{3} .

$W_{yn1} = W_{y1}$ = 47000 мм ^{3} = 47 см ^{3} .

$W_{yn2} = W_{y2}$ = 47000 мм ^{3} = 47 см ^{3} .

Ослабления стенки отверстиями для болтов - отсутствуют.

$t_x = Q_x/(t_w\ h) = 26674,08802/(6 \cdot 250) = 17,78273$.

Прогрессирующее разрушение - не рассматривается в данном расчете.

Сейсмичность площадки строительства - не более 6 баллов.

m_{kp} = 1 .

$R_{yn} = m_{kp}\ R_{yn} = 1 \cdot 245 = 245$ МПа .

$R_{un} = m_{kp}\ R_{un} = 1 \cdot 370 = 370$ МПа .

$R_y = m_{kp}\ R_y = 1 \cdot 235 = 235$ МПа .

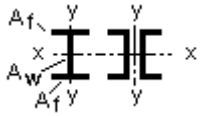
$R_u = m_{kp}\ R_u = 1 \cdot 350 = 350$ МПа .

$R_s = m_{kp}\ R_s = 1 \cdot 136 = 136$ МПа .

Сечение - не является опорным.

2) Коэффициенты для расчета на прочность элементов стальных конструкций с учетом развития пластических деформаций

Тип сечения по табл. Е.1 - 1.



По табл. Е.1 c_x = 1,089 .

По табл. Е.1 c_y = 1,47 .

По табл. Е.1 n = 1,5 .

3) Продолжение расчета по п. п. 8.2.3 СП 16.13330.2017

t_x = 17,78273 МПа r 0,9 R_s = 0,9 · 136 = 122,4 МПа (14,52837**% от предельного значения**) - условие выполнено .

Изгиб - в одной из главных плоскостей.

Минимальные значения моментов сопротивления:

$W_{xnmin} = \min(W_{xn1}\ ;\ W_{xn2}) = \min(324200;324200)$ = 324200 мм ^{3} = 324,2 см ^{3} .

Зона чистого изгиба - имеется.

b = 1 .

$c_{xm} = 0,5\ (1+c_x) = 0,5 \cdot (1+1,089) = 1,0445$ (формула (47); п. 8.2.3).

$M_x/(c_{xm}\ b\ W_{xnmin}\ R_y\ g_c) = 36480602,51834/(1,0445 \cdot 1 \cdot 324200 \cdot 235 \cdot 0,9) = 0,50937$ r 1 (50,93663**% от предельного значения**) - условие выполнено (формула (50); п. п. 8.2.3).

4) Проверка выполнения условий, при которых устойчивость балок требуется проверять

Условие п. 8.4.4 а (сжатый пояс надежно связан с жестким настилом) - не выполняется.

$l_{ef} = l_{efy}$ = 5100 мм .

h = h-t = 250-9 = 241 мм .

Проверка выполнения условий

h /b = 241/125 = 1,928 t 1 (192,8**% от предельного значения**) - условие выполнено .

h /b = 241/125 = 1,928 r 6 (32,13333**% от предельного значения**) - условие выполнено .

b/t = 125/9 = 13,88889 r 35 (39,68254**% от предельного значения**) - условие выполнено .

$l_b = (l_{ef}/b)$; R_y/E= (5100/125) · ; 235/210000= 1,36485 .

Расчет на прочность - с учетом пластических деформаций.

5) Коэффициенты для расчета на прочность элементов стальных конструкций с учетом развития пластических деформаций

По табл. Е.1 c_x = 1,089 .

По табл. Е.1 $c_y = 1,47$.
По табл. Е.1 $n = 1,5$.
$t_x = Q_x/(t_w h) = 26674,08802/(6 \cdot 250) = 17,78273$.
Т.к. $t_x = 17,78273$ МПа r 0,5 $R_s = 0,5 \cdot 136 = 68$ МПа :
$b = 1$.
$c = c_x = 1,089$.
$c_{1x} = b\ c_x = 1 \cdot 1,089 = 1,089$.
$d = 1\text{-}0,6\ (c_{1x}\text{-}1)/(c\ \text{-}1) =$
$= 1\text{-}0,6 \cdot (1,089\text{-}1)/(1,089\text{-}1) = 0,4$ (формула (76); п. 8.4.6).
6) Продолжение расчета по п. п. 8.4.4 СП 16.13330.2017
Т.к. $b/t = 125/9 = 13,88889 < 15$:
При b/tr 15 в формулах (71) - (73) табл. 11 принимается b/t = 15:
Место приложения нагрузки - к верхнему поясу.
$l_{ub} = d\ (0,35+0,0032\ 15+(0,76\text{-}0,02\ 15)\ b/h\ ) =$
$= 0,4 \cdot (0,35+0,0032 \cdot 15+(0,76\text{-}0,02 \cdot 15) \cdot 125/241) = 0,25464$ (формула (71); п. 8.4.4).
Т.к. $l_b = 1,36485 > l_{ub} = 0,25464$:
7) Расчет балок на устойчивость
Определение коэффициента для расчета устойчивости изгибаемых элементов
Определение коэффициента a
Сечение - прокатное.
$a = 1,54\ J_t/J_y\ (l_{ef}/h)^2 =$
$= 1,54 \cdot 77500/2938000 \cdot (5100/250)^2 = 16,90561$ (формула (Ж.4); п. Ж.3 прил. Ж).
0,1 r a = 16,90561 (0,59152**% от предельного значения**) - условие выполнено .
a r 400 (4,2264**% от предельного значения**) - условие выполнено .
8) Продолжение расчета по прил. Ж
Определение коэффициента y по табл. Ж.1
Количество закреплений сжатого пояса в пролете - одно в середине.
Вид нагрузки - Равномерно распределенная к верхнему поясу.
По табл. Ж.1 $y = 3,91407$.
9) Продолжение расчета по прил. Ж
Тип балки - прокатный двутавр.
Определение коэффициента f_1 по формуле (Ж.3)
$f_1 = y\ J_y/J_x\ (h/l_{ef})^2\ E/(R_y) =$
$= 3,91407 \cdot 2938000/40520000 \cdot (250/5100)^2 \cdot 210000/(235) = 0,6094$ (формула (Ж.3); п. Ж.2 прил. Ж).
Т.к. f_1 r 0,85 :
$f_b = f_1 = 0,6094$ (формула (Ж.1); п. Ж.2 прил. Ж).
10) Продолжение расчета по п. п. 8.4.1 СП 16.13330.2017
$W_{cx} = W_{x2} = 324200$ мм $^3 = 324,2$ см ^{3} .
$W_y = W_{y2} = 47000$ мм $^3 = 47$ см ^{3} .
Изгиб - в плоскости стенки, совпадающей с плоскостью симметрии сечения.
$M_x/(f_b\ W_{cx}\ R_y\ g_c) = 36480602,51834/(0,6094 \cdot 324200 \cdot 235 \cdot 0,9) = 0,87304$ r 1 (87,30441**% от предельного значения**) - условие выполнено (формула (69); п. п. 8.4.1).

5. Основные выводы по результатам расчётов

1. Объект расположен по адресу: г. Москва, пл. Смоленская-Сенная, д. 28.
2. Цель работы: Расчёт конструкций стальных ферм и балок покрытия на дополнительные усилия, возникающие при установке оборудования на кровлю.
3. Расчёты производились на основании обследования, выполненного ООО «В-проджект» в 2023 году:
4. По результатам расчётов несущей способности стальных элементов ферм от действия дополнительных усилий, возникающих при установке оборудования на кровлю **достаточно при условии опирания рам оборудования не менее, чем на 3 фермы при массе оборудования до 1000 кг и при условии опирания рам оборудования не менее, чем на 4 фермы при массе оборудования от 1001 кг до 3200 кг так, чтобы точки опор приходились в узлах ферм**. Установка опор оборудования вне узлов ферм не допускается.
5. По результатам расчётов гибкости стальных элементов ферм от действия дополнительных усилий, возникающих при установке оборудования на кровлю, предельная гибкость полки из условия местной устойчивости **не удовлетворяет** критериям расчёта. Коэффициент использования 1.01. Необходимо провести мероприятия по усилению полок верхнего пояса ферм. Все работы по усилению вести по отдельно разработанному проекту. Проект должен разрабатываться организацией, имеющей допуск СРО к соответствующему виду работ.
6. По результатам поверочных расчётов несущей способности стальных балок Б4 в осях 4-10/J-Н **достаточно для восприятия усилий, возникающих при установке дополнительно оборудования при условии опирания рам оборудования не менее, чем на 3 балки.** При этом необходимо обеспечить раскрепление балок из плоскости по отдельно разработанному проекту. Проект должен разрабатываться организацией, имеющей допуск СРО к соответствующему виду работ.

Приложение №1. Копии СРО и лицензий программного обеспечения



ЛИЦЕНЗИЯ

№ 12936

на передачу и сопровождение интегрированной системы
SCAD Office

Дата передачи 2015/06/23
Передано **ООО "В-проджект", г.Москва.**

Компания "SCAD SOFT" подтверждает настоящей лицензией факт передачи интегрированной системы прочностного анализа и проектирования конструкций **SCAD Office 21** и гарантирует сопровождение и обновление системы в рамках переданной конфигурации в течении одного года со дня передачи.

Комплектация передаваемых программных модулей

	s64	s392	sMax
Количество рабочих мест	1	0	0
Графический синтез расчетной схемы, линейный расчет и анализ результатов расчета	x		
Расчетные сочетания усилий			
Подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций			
Анализ устойчивости			
Проверка и подбор элементов стальных конструкций			
Вычисление спектров ответа			
Нелинейный процессор (расчет геометрически нелинейных задач)			
Амплитудно-частотные характеристики			
Вариации моделей			
Монтаж			

Локальный ключ.

Условия Лицензионного договора см. на обратной стороне листа.

По вопросам сопровождения обращаться:
Тел. Факс (+38 044) 249 71 91, (+7 499) 267 40 76
e-mail: scad@scadsoft.com; scad@scadsoft.ru

Представитель ГК «SCAD SOFT»: **Булгаков С.А.**
(Ф.И.О.)

М.П.