

**Приложение 4. Методическое пособие
по выполнению курсового проекта
к ОП по специальности
22.02.06 Сварочное производство**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

ПМ02 Разработка технологических процессов и проектирование изделий

МДК.02. 01 Основы расчета и проектирования сварных
конструкций

Специальность 22.02.06 Сварочное производство

Оглавление

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	2
2. СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	2
3. ТРЕБОВАНИЯ ЕСКД К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	3
4. ОФОРМЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	5
5. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	5
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ	6
6. СОДЕРЖАНИЕ ВВЕДЕНИЯ	7
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СЕРЖНЯХ ФЕРМЫ ПО ЛИНИЯМ ВЛИЯНИЯ	7
7.1. Построение линии влияния всех стержней фермы, кроме стоек и подвесок.	10
7.2. Определение усилий в стержнях по линиям влияния.	16
8. ПОДБОР СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ	18
8.1. Назначение фермы сечений и толщины фасонки	21
8.2. Проектирование количества профилей уголков	30
9. РАСЧЁТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	31
9.1. Назначение катетов швов.	34
9.2. Определение расчётных и рабочих длин сварных швов	36
9.3. Конструирование узлов фермы.	39
9.4. Расчёт и конструирование опорного узла фермы.	41
9.5. Расчёт и конструирование стыков элементов ферм.	46
9.6. Конструирование прокладок.	47
10. СОСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ	50
11. ЧЕРТЕЖ ФЕРМЫ	51
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	52
ПРИЛОЖЕНИЕ	53

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основной целью курсового проектирования по предмету «Расчёт и проектирование сварных конструкций» является дальнейшее развитие и совершенствование творческого и инженерного мышления учащихся. Кроме того, при выполнении курсового проекта преследуется цель: закрепление и углубление знаний, полученных учащимися при изучении теоретического материала; ознакомление их с современными методами практического расчета и проектирования, а также и подготовки учащихся к выполнению дипломного проекта и к производственной работе.

Задачей курсового проектирования является привитие учащимся практических умений и навыков:

- в определении размеров и конструктивных форм, исходя из условия прочности, устойчивости, технологичности, безопасности, экономичности, рациональности и конструктивных требований;

- в методике и последовательности проектирования строительной сварной конструкции по всем разделам проекта, начиная с изучения и оценки задания на проектирование и кончая расчетно-пояснительным и графическим оформлением работы.

2. СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Чертежи и пояснительная записка к проекту должны быть выполнены в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном пособии.

Расчеты должны сопровождаться необходимыми схемами и пояснениями.

Чертеж должен быть выполнен с соблюдением всех правил строительного черчения.

В период экзаменационной сессии учащийся должен защитить свой проект.

Разделы пояснительной записки:

Содержание

Задание

Введение

Определение усилия в стержнях фермы при помощи линии влияния (можно другими способами: вырезанием узлов или методом Риттера)

5. Подбор сечений стержней фермы.

6. Расчёт сварных соединений.

Графическая часть должна состоять из листа формата А1, содержащего рабочий чертеж фермы, геометрическую схему фермы, таблицу и расчет фермы, таблицу спецификации стали.

Замечание:

Все конструкторские документы должны иметь условное обозначение (шифр).

В учебном проектировании приняты следующие условные обозначения:

АПТ КП 22.02.06.491.ПЗ - пояснительной записки

АПТ КП 22.02.06.491.ВО - графической части

3. ТРЕБОВАНИЯ ЕСКД К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Общие требования

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4 печатным шрифтом 14 размера «Times New Roman».

Расстояния от рамки до границы текста рекомендуется оставлять:

в начале строк ≥ 5 мм,

в конце строк ≥ 3 мм.

Расстояние от верхней и нижней строки текста до верхней или нижней границе рамки должно быть ≥ 10 мм.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа.

Каждый пункт текста записывается с абзаца. Цифры, указывающие номера пунктов, не должны выступать за границу абзаца. Повреждение листов, пометки и следы исправления текста не допускаются.

Требования к тексту

Содержание пояснительной записки разбивают на разделы и подразделы, а при необходимости на пункты и подпункты.

Например:

1. - раздел

1.1. - подраздел

1.1.1. - пункт

1.1.1. 1)-подпункт

Название разделов и подразделов записывается в виде заголовков.

Перенос слов в заголовках не допускается. Точка в конце заголовка не ставится.

Расстояние между заголовком и последующим текстом должно быть равно 10 мм, а между заголовком и предыдущим текстом – 15 мм.

Изложение содержания должно быть кратким, четким. Терминология и определения должны быть едиными и соответствовать стандартам или общепринятыми в научно-технической литературе. Сокращения слов в тексте и подписях под иллюстрациями, как правило, не допускают. Исключение составляют сокращения, общепринятые в русском языке, установленные

ГОСТ 2.316-68.

Значение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой.

Например: Требуемая площадь поперечного сечения

$$A_{гр.} \geq \frac{N}{R},$$

где N – усилие в стержне в кН;

R – расчётное сопротивление в $\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$.

В целях упрощения записи при ссылке на технические условия или стандарты допускается указывать только обозначение документа.

Все размещённые иллюстрации и таблицы, если их больше одной нумеруются арабскими цифрами.

Цифровой материал, как правило, оформляется в виде таблиц.

Заголовки граф таблиц начинают с прописных букв в единственном числе. Диагональное деление головки таблицы не допускается. Высота строк таблиц должна быть ≥ 8 мм. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись, например: «Таблица 1.2.».

4.ОФОРМЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Содержание пояснительной записки является первым или заглавным листом и выполняется по форме 5 с основной надписью (штампом) по форме 2. Все последующие листы – по форме 5а с основной надписью по форме 2а.

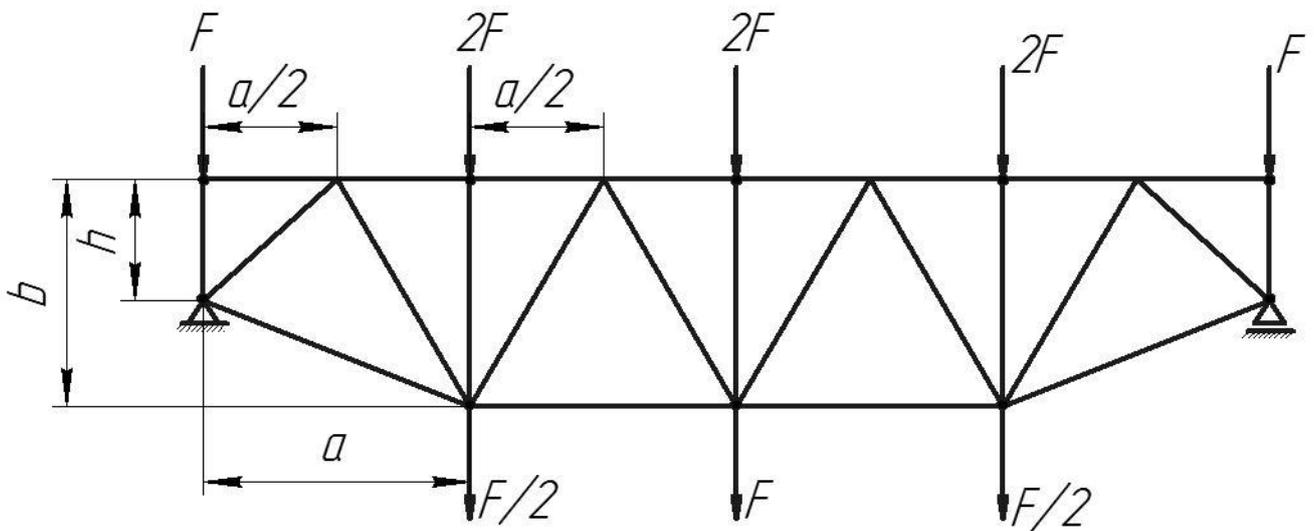
В содержании отмечается нумерация разделов пояснительной записки и номера листов их расположения.

5.ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Номер варианта задания на проектирование фермы соответствует номеру учащегося в журнале посещаемости группы.

Рассчитать и спроектировать сварную ферму, приняв сечение основных элементов из парных уголков с прокладками, коэффициент перегрузки $n = 1,1$, коэффициент условия работы $m = 0,9$.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ



№ варианта задания	F, кН	h, м	a, м	b, м	Класс прочности стали
1.	400	3,2	3,0	5,0	C 52/40
2.	350	3,0	2,8	4,4	C 44/29
3.	380	2,8	2,6	5,5	C 46/33
4.	260	3,1	2,4	3,7	C 38/23
5.	380	3,4	2,7	5,5	C 46/33
6.	420	3,6	3,1	5,9	C 52/40
7.	300	2,7	2,5	4,8	C 44/29
8.	240	2,9	2,3	3,9	C 38/23
9.	360	3,3	2,9	4,3	C 44/29
10.	300	2,3	2,7	4,1	C 46/33
11.	400	3,5	3,3	4,8	C 52/40
12.	280	2,9	2,7	5,1	C 38/23
13.	300	2,8	3,3	5,0	C 38/23
14.	360	3,1	3,5	4,4	C 44/29
15.	290	2,5	2,9	5,5	C 38/23

16.	240	2,4	2,8	3,7	C 46/33
17.	320	2,7	3,2	5,5	C 44/29
18.	380	2,8	3,0	5,9	C 46/33
19.	260	3,0	3,2	4,8	C 44/29
20.	340	3,4	3,6	3,9	C 52/40
21.	280	2,8	2,5	4,3	C 38/23
22.	400	3,6	3,4	4,1	C 52/40
23.	240	2,4	2,7	4,8	C 38/23
24.	220	3,0	2,9	4,5	C 44/29
25.	230	2,3	3,1	4,9	C 38/23
26.	310	2,5	2,4	4,0	C 44/29
27.	390	3,1	3,3	5,2	C 46/33
28.	410	3,3	3,7	5,4	C 52/40
29.	210	2,2	2,7	4,1	C 38/23
30.	370	2,6	2,9	4,6	C 44/29

6. СОДЕРЖАНИЕ ВВЕДЕНИЯ

Во введении должно быть отражено: назначение конструкции, краткая техническая характеристика, основания выбора материала и перспективы технического прогресса в производстве данных конструкций.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СЕРЖНЯХ ФЕРМЫ ПО ЛИНИЯМ ВЛИЯНИЯ

7.1. Построение линий влияния в стойках и подвесках.

Изображаем схему фермы, обозначаем поля цифрами, тогда любая цифра будет изображаться двумя цифрами. (Например: $R_a \rightarrow 2 - 3$, $R_B \rightarrow 2' - 3'$ и т. д.)

Определяем опорные реакции

$$R_a = R_b = \frac{10 \cdot 200 + 2 \cdot 100}{2} = 1100 \text{ кН}$$

Т.к. стойки и подвески воспринимают только нагрузку, приложенную в узле, то при построении линии влияния рассматриваются два случая: груз в узле и груз вне узла.

Используем метод вырезания узлов.

Линия влияния стойки 3-8.

Груз вне узла: $\sum F_{iy} = 0$; $-N_{3-8} = 0$

Груз в узле: $\sum F_{iy} = 0$; $-N_{3-8} - 1 = 0$

$$-N_{3-8} = -1$$

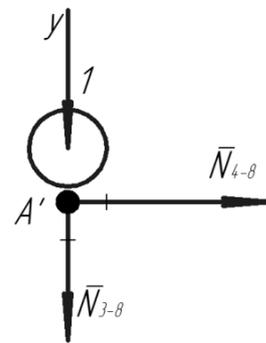


Схема 7.1.

Проводим базовую линию и от неё откладываем вниз “1” под узлом A'. Линию влияния от узла A' к узлу С спрямляем к нулю.

Линия влияния стойки 10-11.

Груз вне узла: $\sum F_{iy} = 0$; $-N_{10-11} = 0$.

Груз в узле: $\sum F_{iy} = 0$; $-N_{10-11} - 1 = 0$;

$$N_{10-11} = -1.$$

От базовой линии откладываем “-1”.

Линию влияния спрямляем к нулю к узлам С и К.

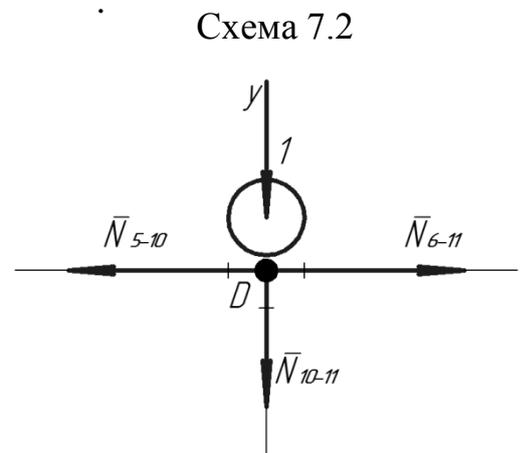


Схема 7.2

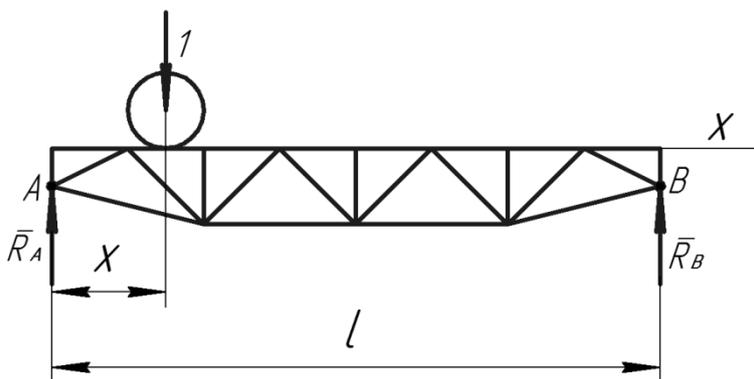
7.2. Построение линии влияния опорных реакций.

Линия влияния R_A .

$$\sum m_B(\bar{F}_i) = 0; R_A \cdot l - 1 \cdot (l - x) = 0; \quad R_A = 1 - \frac{x}{l}$$

при $x = 0; R_A = 1;$
 $x = l; R_A = 0.$

Схема 7.3.



Линия влияния R_B .

$$\sum m_A(\bar{F}_i) = 0; R_B \cdot l - 1 \cdot (l - x) = 0; \quad R_B = 1 - \frac{x}{l}$$

при $x = 0; R_B = 1;$
 $x = l; R_B = 0.$

7.1. Построение линии влияния всех стержней фермы, кроме стоек и подвесок.

Линии влияния выражают через линии влияния опорных реакций.

При определении усилий используют метод Риттера. Для построения линий влияния усилий в стержнях 4-8, 8-9, 2-9 рассекаем ферму сечением 1-1. Рассматриваем два случая:

груз справа от сечения, при этом в уравнении равновесия берём силы, расположенные слева от сечения;

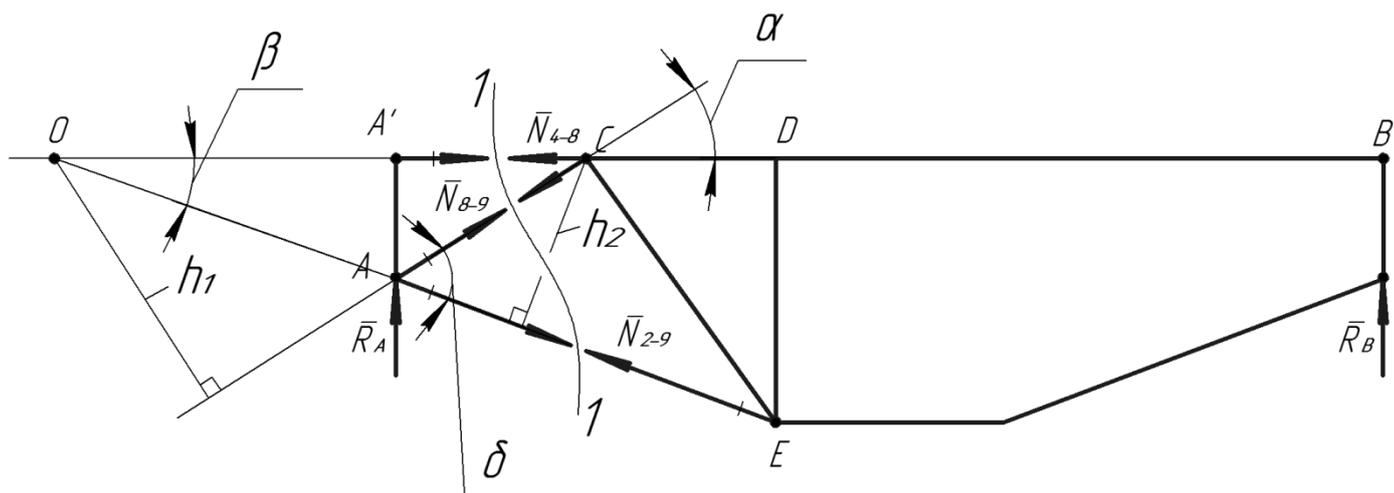
груз слева от сечения – берём силы, расположенные справа.

Примечание:

Рассекаем так, чтобы в сечение попало только 3 стержня.

Уравнения выбираем такие, чтобы в него входило только одно усилие.

Схема 7.4.



Линия влияния N_{4-8} .

Груз справа от сечения 1-1

$$\sum m_A(\bar{F}_i)^l = 0; \quad N_{4-8} \cdot h = 0; \quad \rightarrow N_{4-8} = 0.$$

Груз слева от сечения 1-1

$$\sum m_A(\bar{F}_i)^n = 0; \quad -N_{4-8} \cdot h - R_B \cdot l = 0; \rightarrow N_{4-8} = -\frac{l}{h} \cdot R_B = -\frac{16}{1} \cdot R_B = -16 \cdot R_B.$$

Спрямив линию влияния в пределах рассечённой панели, получим, что линия влияния будет базовая линия.

Линия влияния N_{8-9} .

Груз справа от сечения 1-1

$$\sum m_O(\bar{F}_i)^l = 0; \quad -N_{8-9} \cdot h_1 - R_A \cdot OA' = 0; \quad \rightarrow N_{8-9} = -\frac{OA'}{h_1} \cdot R_A.$$

Определим OA'

$$\frac{OA'}{AA'} = \frac{OD}{DE}; \quad \frac{OA'}{1} = \frac{4 + OA'}{2} \quad \rightarrow OA' = 4 \text{ м.}$$

Определим h_1 .

$$tg \alpha = \frac{AA'}{A'C} = \frac{h}{a} = \frac{1}{2} = 0,5 \quad \rightarrow \alpha = 26^\circ 34'.$$

$$h_1 = OC \cdot \sin \alpha = 6 \cdot \sin 26^\circ 34'.$$

$$N_{8-9} = -\frac{4}{6 \cdot 0,4473} \cdot R_A \approx -1,49 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 1-1

$$\sum m_O(\bar{F}_i)^n = 0; \quad N_{8-9} \cdot h_1 - R_B \cdot OB' = 0; \quad \rightarrow N_{8-9} = \frac{OB'}{h_1} \cdot R_B = \frac{20}{6 \cdot 0,4473} \cdot R_B \\ \approx 7,45 \cdot R_B.$$

Примечание: ординаты линии влияния под силами определяем из подобия треугольников.

Линия влияния N_{2-9} .

Груз справа от сечения 1-1

$$\sum m_C(\bar{F}_i)^1 = 0; \quad -N_{2-9} \cdot h_2 + R_A \cdot A'C = 0; \quad \rightarrow N_{2-9} = -\frac{A'C}{h_2} \cdot R_A.$$

Определим h_2 .

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{A'A}{OA'} = \frac{1}{4} = 0,25 \quad \rightarrow \beta = 14^\circ 2'.$$

$$\delta = \alpha + \beta = 26^\circ 34' + 14^\circ 2' = 40^\circ 36'$$

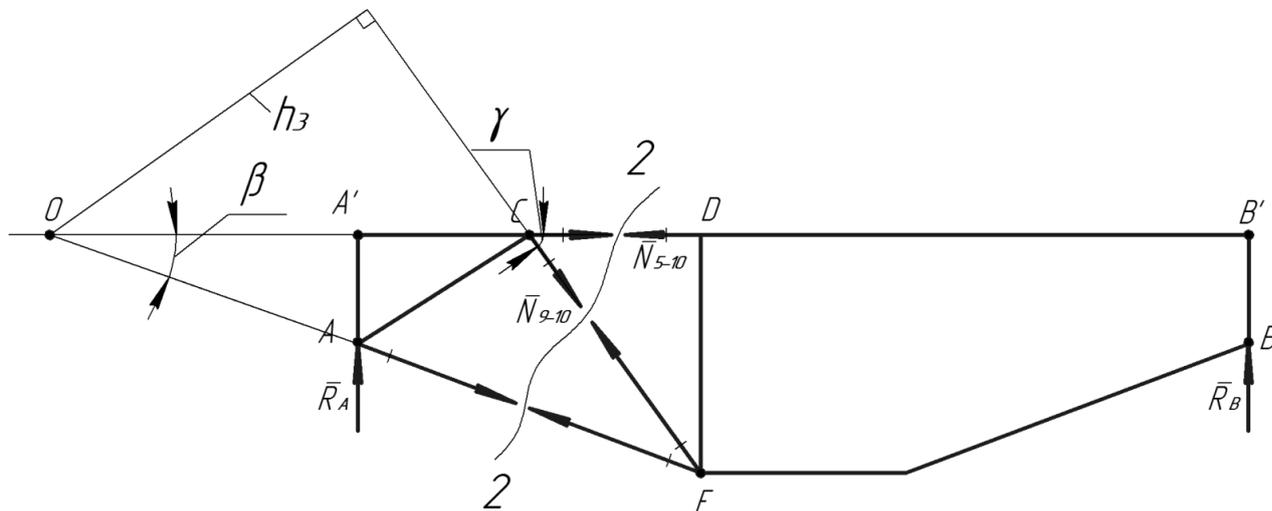
$$AC = \frac{AA'}{\sin \alpha} = \frac{1}{\sin \alpha}; \quad h_2 = AC \cdot \sin \delta = \frac{\sin \delta}{\sin \alpha}.$$

$$N_{2-9} = \frac{2 \cdot \sin \alpha}{\sin \delta} \cdot R_A = \frac{2 \cdot 0,4473}{0,6508} \cdot R_A \approx 1,374 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 1-1

$$\begin{aligned} \sum m_C(\bar{F}_i)^2 &= 0; \quad N_{2-9} \cdot h_2 - R_B \cdot B'C = 0; \quad \rightarrow N_{2-9} = \frac{B'C}{h_2} \cdot R_B = \frac{14 \cdot \sin \alpha}{\sin \delta} \cdot R_B = \\ &= \frac{14 \cdot 0,4473}{0,6508} \cdot R_B \approx 9,62 \cdot R_B. \end{aligned}$$

Для построения линий влияния усилий N_{5-10} и N_{9-10} рассекаем ферму сечением 2-2.



Линия влияния N_{5-10} .

Груз справа от сечения 2-2

$$\sum m_E(\bar{F}_i)^l = 0; \quad N_{5-10} \cdot DE + R_A \cdot A'D = 0; \quad \rightarrow N_{5-10} = -\frac{A'D}{DE} \cdot R_A = -\frac{4}{2} \cdot R_A = -2 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 2-2

$$\sum m_E(\bar{F}_i)^n = 0; \quad -N_{5-10} \cdot DE - R_B \cdot DB' = 0; \quad \rightarrow N_{5-10} = -\frac{B'D}{DE} \cdot R_B = -\frac{12}{2} \cdot R_B = -6 \cdot R_B.$$

Линия влияния N_{9-10} .

Груз справа от сечения 2-2

$$\sum m_O(\bar{F}_i)^l = 0; \quad N_{9-10} \cdot h_3 - R_A \cdot OA' = 0; \quad \rightarrow N_{9-10} = -\frac{OA'}{h_3} \cdot R_A;$$

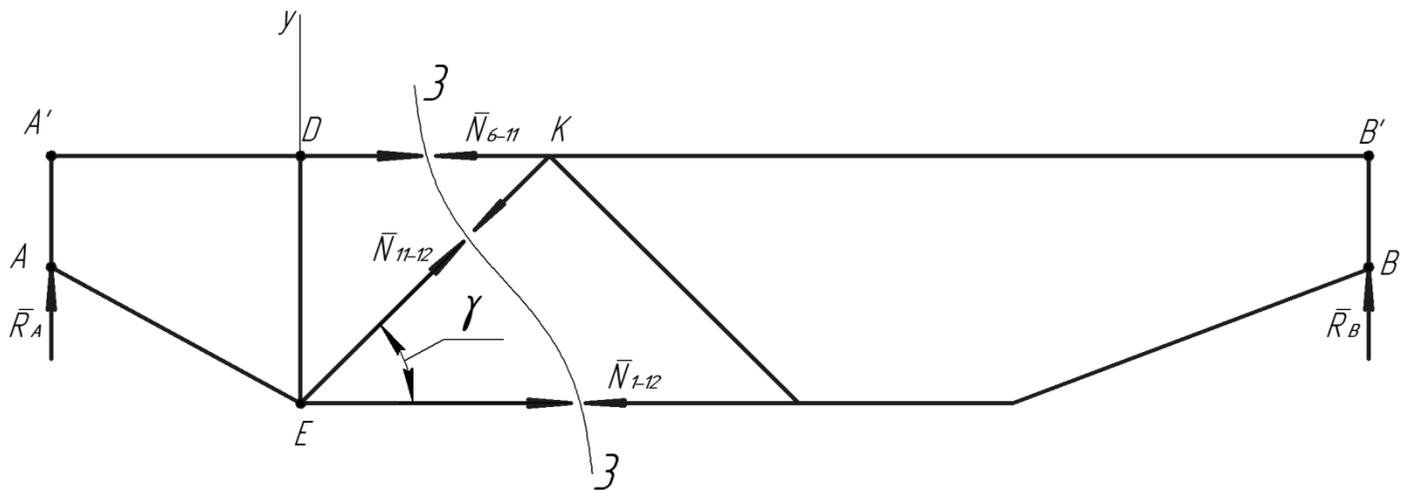
$$h_3 = OC \cdot \sin \gamma = OC \cdot \sin 45^\circ;$$

$$N_{9-10} = -\frac{OA'}{OC \cdot \sin 45^\circ} = \frac{4 \cdot R_A}{6 \cdot 0,7071} \approx 0,9428 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 2-2

$$\sum m_O(\bar{F}_i)^n = 0; \quad -N_{9-10} \cdot h_3 - R_B \cdot OB' = 0; \quad \rightarrow N_{9-10} = -\frac{OB'}{h_3} \cdot R_B = -\frac{20}{6 \cdot 0,7071} \cdot R_B \approx -4,714 \cdot R_B.$$

Схема 7.6.



Линия влияния N_{6-11} .

Груз справа от сечения 3-3

$$\sum m_E(\bar{F}_i)^l = 0; \quad N_{6-11} \cdot DE + R_A \cdot A'D = 0; \quad \rightarrow N_{6-11} = -\frac{A'D}{DE} \cdot R_A = -\frac{4}{2} \cdot R_A = -2 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 3-3

$$\sum m_E(\bar{F}_i)^n = 0; \quad -N_{6-11} \cdot DE - R_B \cdot B'D = 0; \quad \rightarrow N_{6-11} = -\frac{B'D}{DE} \cdot R_B = -\frac{12}{2} \cdot R_B = -6 \cdot R_B.$$

Линия влияния N_{1-12} .

Груз справа от сечения 3-3

$$\sum m_K(\bar{F}_i)^l = 0; \quad -N_{1-12} \cdot DE + R_A \cdot A'K = 0; \quad \rightarrow N_{1-12} = \frac{A'K}{DE} \cdot R_A = \frac{6}{2} \cdot R_A = 3 \cdot R_A.$$

Груз справа от сечения 4-4

$$\sum m_L(\bar{F}_i)^l = 0; \quad N_{7-13} \cdot ML + R_A \cdot A'M = 0; \quad \rightarrow N_{7-13} = -\frac{A'M}{ML} \cdot R_A = -\frac{8}{2} \cdot R_A = -4 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 4-4

$$\sum m_L(\bar{F}_i)^n = 0; \quad -N_{7-13} \cdot ML - R_B \cdot B'M = 0; \quad \rightarrow N_{7-13} = -\frac{B'M}{ML} \cdot R_B = -\frac{8}{2} \cdot R_B = -4 \cdot R_B.$$

Линия влияния N_{12-13} .

Груз справа от сечения 4-4

$$\sum F_{iy}^l = 0; \quad -N_{12-13} \cdot \cos \gamma + R_A = 0; \quad \rightarrow N_{12-13} = \frac{1}{\cos \gamma} \cdot R_A = \frac{1}{0,7071} \cdot R_A \approx 1,414 \cdot R_A.$$

Груз слева от сечения 4-4

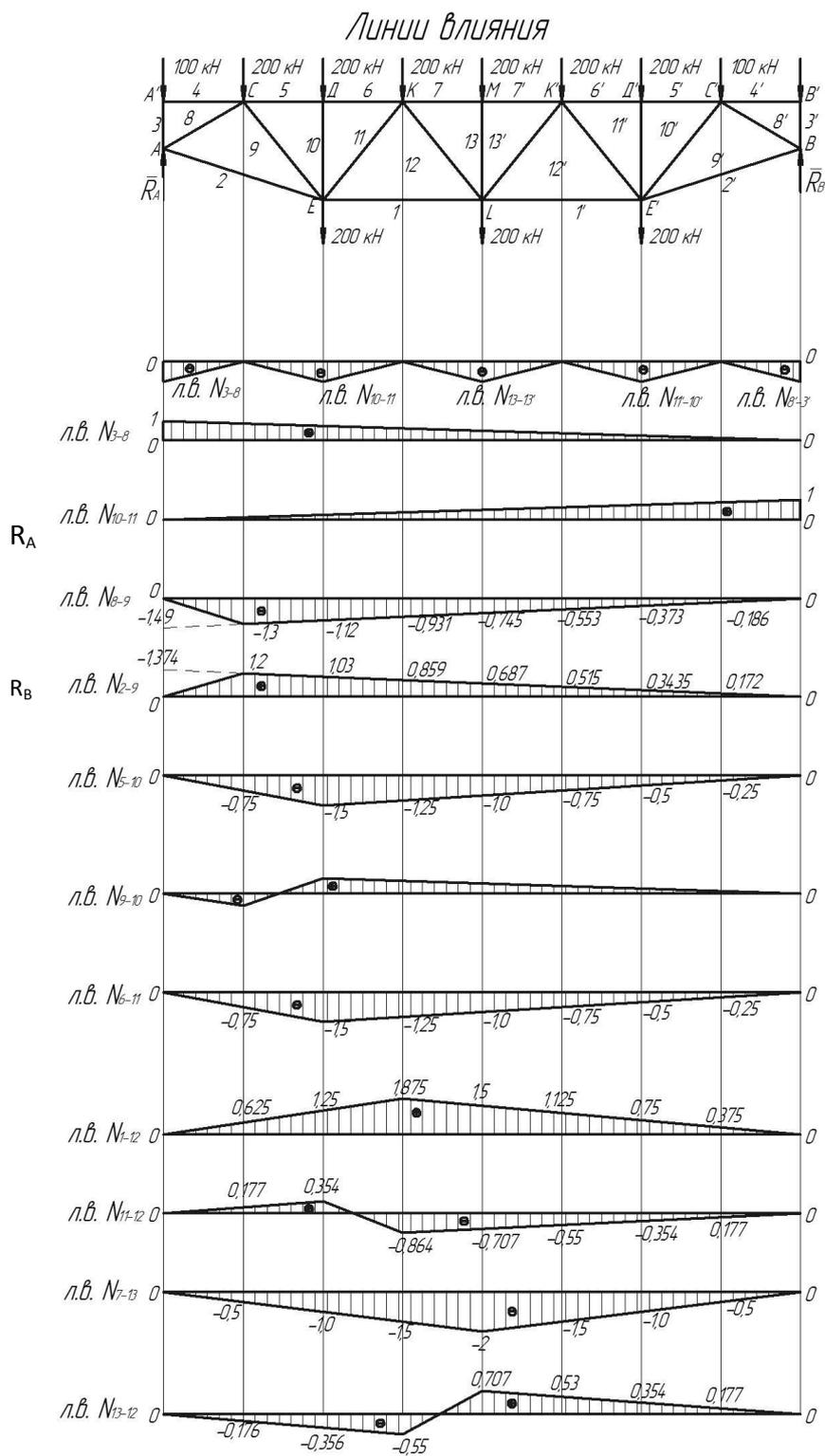
$$\sum F_{iy}^n = 0; \quad N_{12-13} \cdot \cos \gamma + R_B = 0; \quad \rightarrow N_{12-13} = -\frac{1}{\cos \gamma} \cdot R_B = -\frac{1}{0,7071} \cdot R_B \approx -1,414 \cdot R_B.$$

Линии влияния усилий в стержнях правой половины фермы будут аналогичны линиям влияния симметричных стержней левой половины фермы.

7.2. Определение усилий в стержнях по линиям влияния

Для определения усилий берём алгебраическую сумму произведений внешних сил на ординаты под силами на линии влияния данного усилия.

Схема 7.8. Пример построения линий влияния.



8. ПОДБОР СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

8.1. Определяем расчётные усилия в стержнях

Расчётное усилие определяется умножением нормативного усилия на коэффициент перегрузки.

Принимаем для всех элементов фермы $n = 1,1$, т.к. нагрузка постоянная (1) стр. 226.

Например: Расчётное усилие в опорном раскосе 8-9 (8' – 9')

$$N_{8-9} = 1,1 \cdot (-1490) = -1640 \text{ кН.}$$

8.2. Определяем геометрическую длину стержней

$$l_{3-8} = l_{3'-8'} = 100 \text{ см}$$

$$l_{4-8} = l_{4'-8'} = l_{5-10} = l_{5'-10'} = l_{6-11} = l_{6'-11'} = l_{7-13} = l_{7'-13'} = 200 \text{ см}$$

$$l_{2-9} = l_{2'-9'} = \frac{400}{\cos \beta} = \frac{400}{0,9702} \approx 412 \text{ см}$$

$$l_{10-11} = l_{10'-11'} = l_{13-13'} = 200 \text{ см}$$

$$l_{8-9} = l_{8'-9'} = \frac{200}{\cos \alpha} = \frac{200}{0,8945} \approx 224 \text{ см}$$

$$l_{9-10} = l_{9'-10'} = l_{11-12} = l_{11'-12'} = l_{12-13} = l_{12'-13'} = \frac{200}{\cos \gamma} = \frac{200}{0,7071} \approx 283 \text{ см}$$

8.3. Определяем расчётную длину элементов фермы

Расчётные длины элементов фермы определяем: (1) стр. 196

Используя таблицу 8.1.

Таблица 8.1.

Направление продольного изгиба	Пояса	Решётка	
		Стойки и раскосы опорные	Прочие элементы
В плоскости фермы	$l_x = l$	$l_x = l$	$l_x = 0,8 \cdot l$
Из плоскости фермы	$l_y = l_1$	$l_y = l$	$l_y = l$

l – геометрическая длина элемента

l_1 – расстояние между узлами, закреплёнными звеньями

Принимаем расположение связей:

по верхнему поясу в узлах A', D, K, K', D' и B' .

по нижнему поясу в узлах A, E, E' и B' .

Расчётная длина стержней:

Верхний пояс

$$l_x = l = 200 \text{ см}$$

$$l_y = 2 \cdot l = 400 \text{ см}$$

Нижний пояс

Наклонный стержень

$$l_x = l = 412 \text{ см}$$

$$l_y = l = 412 \text{ см}$$

Горизонтальный стержень

$$l_x = l = 400 \text{ см}$$

$$l_y = 2 \cdot l = 800 \text{ см}$$

Опорная стойка

$$l_x = l = 100 \text{ см}$$

$$l_y = l = 100 \text{ см}$$

Промежуточные стойки $l_x = 0,8 \cdot l = 160 \text{ см}$
 $l_y = l = 200 \text{ см}$

Опорный раскос $l_x = l = 224 \text{ см}$
 $l_y = l = 224 \text{ см}$

Промежуточные раскосы $l_x = l = 226 \text{ см}$
 $l_y = l = 283 \text{ см}$

8.4. Выбор материала и определение расчётного сопротивления

Для снижения веса фермы принимаем сталь из группы повышенной прочности класса С 46/33 марку 14Г2.

Расчётное сопротивление определяется по таблице 8.2. (2) стр.18 с учётом коэффициента условия работы – m .

Принимаем для всех элементов фермы коэффициент условия работы $m = 0,9$.

Расчётное сопротивление при растяжении, сжатии

$$R = 0,9 \cdot 29 = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} ;$$

при срезе: $R_{\text{ср.}} = 0,9 \cdot 17 = 15,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} ;$

при смятии торцевых поверхностей:

$$R_{\text{см.т.}} = 0,9 \cdot 43 = 38,7 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} .$$

Расчётные сопротивления сталей строительных конструкций

Таблица 8.2.

Вид деформации	Группы прочности						
	обычной	повышенной			высокой		
	С 33/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40	С 60/45	С 70/60	С 85/73
Растяжение, сжатие и изгиб	21	26	29	34	38	44	53
Срез	13	15	17	20	23	26	31
Смятие торцевых поверхностей /при наличии прогонки/	32	39	43	51	57	65	80

8.1. Назначение фермы сечений и толщины фасонки

При выборе фермы сечения необходимо стремиться к тому, чтобы гибкости стержней в плоскости и из плоскости фермы были приблизительно равны, т.е.

$$h_x \approx h_y .$$

Для верхнего пояса и нижнего пояса принимаем сечение составленного из двух неравнобоких уголков составленных узкими полками, т.к.

$$l_y = 2 \cdot l_x .$$

Для опорного раскоса и опорной стойки – из двух неравнобоких уголков, составленных широкими полками, т.к.

$$l_x = l_y .$$

Для остальных элементов – из двух равнобоких уголков, т.к.

$$l_x = 0,8 \cdot l_y .$$

Толщину фасонки определяем в зависимости от наибольшего расчётного усилия в стенках решётки /по таблице 8.3./

Принимаем: $\delta = 1,8$ см, т.к. $N_{max.} = 1640$ кН.

Таблица 8.3.

Наибольшее расчётное усилие в решётке (кН)	До 150	151-250	251-400	401-600	601-1000	1010-1400	1410-1800	1810-2200	2210-2610
Толщина фасонок (мм)	6	8	10	12	14	16	18	20	22

8.6. Определяем сечение элементов фермы

Верхний пояс: $N = -2640$ кН;

$$l_x = 200 \text{ см};$$

$$l_y = 400 \text{ см}.$$

Задаёмся коэффициентом продольного изгиба (в пределах 0,6...0,9).

$$\varphi = 0,8.$$

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{тр.} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{2640}{0,8 \cdot 26,1} \approx 124 \text{ см}^2.$$

Принимаем: 2 $\overset{1}{250} \times 160 \times 16$; $A = 2 \cdot 63,6 = 127,2 \text{ см}^2$;

$$J_x = 4,58 \text{ см};$$

$$y_0 = 8,14 \text{ см};$$

$$J_{y1} = 8,02 \text{ см}.$$

При выписке данных из таблиц сортамента надо понимать, что обозначение осей в сортаменте и в расчётах не всегда совпадают.

Определяют радиус инерции составного сечения относительно оси y .

$$J_y = \sqrt{J_{y1}^2 + (y_0 + \frac{\delta}{2})^2} = \sqrt{8,02^2 + (8,14 + \frac{1,8}{2})^2} \approx 12,1 \text{ см}.$$

Гибкость: в плоскости фермы $\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{200}{4,58} \approx 43,7$;

из плоскости фермы $\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{400}{12,1} \approx 33,1$.

Сравниваем гибкость с предельной гибкостью элементов стальных конструкций по таблице 8.4. (1) стр. 330.

$$\lambda_x = 43,7 < [\lambda] = 120 ;$$

$$\lambda_y = 33,1 < [\lambda] = 120 .$$

Определяем коэффициент продольного изгиба по наибольшей гибкости, используя таблицу (1) стр. 321.

Таблица 8.4.

Элементы фермы	Сжатые элементы	Растянутые элементы при статической нагрузке
Пояса, опорные стойки и опорные раскосы	120	400
Прочие элементы	150	400

$$\lambda = 40 \rightarrow \varphi = 0,89 ;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 50 \rightarrow \varphi = 0,81 . \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} \varphi_{\lambda=43,7} &= \varphi_{\lambda=50} + \left(\frac{\varphi_{\lambda=40} - \varphi_{\lambda=50}}{\lambda_{50} - \lambda_{40}} \right) \cdot (\lambda_{50} - \lambda_{43,7}) = \\ &= 0,81 + \left(\frac{0,89 - 0,81}{50 - 40} \right) \cdot (50 - 43,7) \approx 0,86. \end{aligned}$$

при $\lambda_{max} = \lambda_x = 43,7 \rightarrow \varphi_{min} = \varphi_x = 0,86$.

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{-2640}{0,86 \cdot 2 \cdot 63,6} \approx -24,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} .$$

Вывод: принятый номер уголка удовлетворяет условию устойчивости и недонапряжение составляет:

$$\frac{R - \sigma}{R} = \frac{26,1 - 24,1}{26,1} \cdot 100 \approx 7,7\% < 15\%, \text{ что экономически выгодно.}$$

Замечание: задача о подборе сечения сжатых элементов является статистически неопределимой, поэтому её надо решать методом последовательных приближений.

Нижний пояс: $N = 2420 \text{ кН};$

$$l_x = 400 \text{ см};$$

$$l_y = 800 \text{ см.}$$

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{R} = \frac{2420}{26,1} \approx 92,7 \text{ см}^2.$$

Принимаем: 2 $\overset{|}{250} \times 160 \times 12;$ $A = 2 \cdot 48,3 = 96,6 \text{ см}^2;$

$$J_x = 4,62 \text{ см};$$

$$y_0 = 7,97 \text{ см};$$

$$J_{y1} = 8,07 \text{ см.}$$

$$J_y = \sqrt{J_{y1}^2 + \left(y_0 + \frac{\delta}{2}\right)^2} = \sqrt{8,07^2 + \left(7,97 + \frac{1,8}{2}\right)^2} \approx 12 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{400}{4,62} \approx 86,6 < [\lambda] = 400;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{800}{12,1} \approx 66,7 < [\lambda] = 400.$$

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{2420}{2 \cdot 48,3} \approx 25 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятый номер уголка удовлетворяет условию устойчивости и недонапряжение составляет:

$$\frac{R - \sigma}{R} = \frac{26,1 - 25}{26,1} \cdot 100 \approx 4,2\% < 15\%, \text{ что экономически выгодно.}$$

Опорная стойка: $N = -110$ кН;

$$l_x = 100 \text{ см};$$

$$l_y = 100 \text{ см.}$$

Задаёмся $\varphi = 0,8$.

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{110}{0,8 \cdot 26,1} \approx 5,27 \text{ см}^2.$$

Наименьшее сечение уголков применяемых в сварных фермах ограничивается:

для равнобоких 50×5 ,

для неравнобоких $63 \times 40 \times 4$.

Принимаем возможно меньший номер уголка

2 $63 \times 40 \times 4$;

$$A = 2 \cdot 4,04 = 8,08 \text{ см}^2;$$

$$J_x = 2,01 \text{ см};$$

$$x_0 = 0,91 \text{ см};$$

$$J_{y1} = 1,13 \text{ см.}$$

$$J_y = \sqrt{J_{y1}^2 + (x_0 + \frac{\delta}{2})^2} = \sqrt{1,13^2 + (0,91 + \frac{1,8}{2})^2} \approx 2,13 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{100}{2,01} \approx 49,8 < [\lambda] = 120;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{100}{2,13} \approx 46,9 < [\lambda] = 120.$$

$$\lambda_{max} = \lambda_x = 49,8 \rightarrow \varphi_{min} = \varphi_x = 0,81 + \left(\frac{0,89 - 0,81}{50 - 40} \right) \cdot (50 - 49,8) \approx 0,812.$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{-110}{0,812 \cdot 2 \cdot 4,04} \approx -16,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Условие устойчивости выполнено.

Промежуточные стойки: $N = -220$ кН;

$$l_x = 160 \text{ см};$$

$$l_y = 200 \text{ см}.$$

Задаёмся $\varphi = 0,65$.

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{220}{0,65 \cdot 26,1} \approx 13 \text{ см}^2.$$

Принимаем 2 63×6 ;

$$A = 2 \cdot 7,28 = 14,56 \text{ см}^2;$$

$$z_0 = 1,78 \text{ см};$$

$$J_x = 1,93 \text{ см}.$$

$$J_y = \sqrt{J_x^2 + \left(z_0 + \frac{\delta}{2} \right)^2} = \sqrt{1,93^2 + \left(1,78 + \frac{1,8}{2} \right)^2} \approx 3,3 \text{ см}.$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{160}{1,93} \approx 82,9 < [\lambda] = 120;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{200}{3,3} \approx 60,6 < [\lambda] = 120.$$

$$\lambda_{max} = \lambda_x = 82,9 \rightarrow \varphi_{min} = \varphi_x = 0,54 + \left(\frac{0,63 - 0,54}{90 - 80} \right) \cdot (90 - 82,9) \approx 0,604.$$

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{-220}{0,604 \cdot 2 \cdot 7,28} \approx -25 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятый номер уголка удовлетворяет условию устойчивости и недонапряжение составляет:

$$\frac{R - \sigma}{R} = \frac{26,1 - 25}{26,1} \cdot 100 \approx 4,2\% < 15\%, \text{ что экономически выгодно.}$$

Опорный раскос: $N = -1640 \text{ кН};$

$$l_x = 224 \text{ см};$$

$$l_y = 224 \text{ см.}$$

Задаёмся $\varphi = 0,9$.

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{1640}{0,9 \cdot 26,1} \approx 69,8 \text{ см}^2.$$

Принимаем 2 $\overset{|}{200} \times 125 \times 11$;

$$A = 2 \cdot 34,9 = 69,8 \text{ см}^2;$$

$$J_x = 6,45 \text{ см};$$

$$x_0 = 2,79 \text{ см};$$

$$J_{y1} = 3,58 \text{ см.}$$

$$J_y = \sqrt{J_{y1}^2 + \left(x_0 + \frac{\delta}{2}\right)^2} = \sqrt{3,58^2 + \left(2,78 + \frac{1,8}{2}\right)^2} \approx 5,14 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{224}{6,45} \approx 34,7 < [\lambda] = 120;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{224}{5,14} \approx 43,6 < [\lambda] = 120.$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_y = 43,6 \rightarrow \varphi_{\min} = \varphi_y = 0,81 + \left(\frac{0,89 - 0,81}{50 - 40}\right) \cdot (50 - 43,6) \approx 0,861.$$

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{-1640}{0,861 \cdot 2 \cdot 34,9} \approx -27,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятый номер уголка не удовлетворяет условию устойчивости и перенапряжение составляет:

$$\frac{\sigma - R}{R} = \frac{27,3 - 26,1}{26,1} \cdot 100 \approx 4,6\% < 5\%, \text{ что допустимо.}$$

Промежуточный раскос (11-12; 11' - 12'):

$$N = -612 \text{ кН};$$

$$l_x = 226 \text{ см};$$

$$l_y = 283 \text{ см.}$$

Задаёмся $\varphi = 0,7$.

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{612}{0,7 \cdot 26,1} \approx 33,5 \text{ см}^2.$$

Принимаем 2 $\overset{|}{110} \times 8$;

$$A = 2 \cdot 17,2 = 34,4 \text{ см}^2;$$

$$J_x = 3,39 \text{ см};$$

$$z_0 = 3 \text{ см.}$$

$$J_y = \sqrt{J_x^2 + (z_0 + \frac{\delta}{2})^2} = \sqrt{3,39^2 + (3 + \frac{1,8}{2})^2} \approx 5,17 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{226}{3,39} \approx 66,7 < [\lambda] = 150;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{283}{5,17} \approx 54,7 < [\lambda] = 150.$$

$$\lambda_{\text{max}} = \lambda_x = 66,7 \rightarrow \varphi_{\text{min}} = \varphi_x = 0,71 + \left(\frac{0,78 - 0,71}{70 - 60} \right) \cdot (70 - 66,7) \approx 0,733.$$

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{-612}{0,733 \cdot 2 \cdot 17,2} \approx -24,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятый номер уголка удовлетворяет условию устойчивости и недонапряжение составляет:

$$\frac{R - \sigma}{R} = \frac{26,1 - 24,3}{26,1} \cdot 100 \approx 6,9\% < 15\%, \text{ что экономически выгодно.}$$

Промежуточный раскос (9-10; 9' - 10'):

$$N = 726 \text{ кН};$$

$$l_x = 226 \text{ см};$$

$$l_y = 283 \text{ см.}$$

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{726}{0,7 \cdot 26,1} \approx 27,8 \text{ см}^2.$$

Принимаем 2 90×8 ; $A = 2 \cdot 13,9 = 27,8 \text{ см}^2$;

$$J_x = 2,76 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,51 \text{ см.}$$

$$J_y = \sqrt{J_x^2 + (z_0 + \frac{\delta}{2})^2} = \sqrt{2,76^2 + (2,51 + \frac{1,8}{2})^2} \approx 4,39 \text{ см.}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{226}{2,76} \approx 81,9 < [\lambda] = 400;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{283}{4,39} \approx 64,5 < [\lambda] = 400.$$

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{726}{2 \cdot 13,9} \approx 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятый номер уголка удовлетворяет условию прочности.

Промежуточный раскос (12-13; 12' – 13'):

$$N = 311 \text{ кН};$$

$$l_x = 226 \text{ см};$$

$$l_y = 283 \text{ см}.$$

Определяем требуемую площадь уголков

$$A_{\text{тр.}} \geq \frac{N}{\varphi \cdot R} = \frac{311}{26,1} \approx 11,9 \text{ см}^2 .$$

Принимаем 2 $\overset{1}{63} \times 5$; $A = 2 \cdot 6,13 = 12,26 \text{ см}^2$;

$$J_x = 1,94 \text{ см};$$

$$z_0 = 1,74 \text{ см}.$$

$$J_y = \sqrt{J_x^2 + (z_0 + \frac{\delta}{2})^2} = \sqrt{1,94^2 + (1,74 + \frac{1,8}{2})^2} \approx 3,28 \text{ см}.$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{J_x} = \frac{226}{1,94} \approx 116 < [\lambda] = 400 ;$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{J_y} = \frac{283}{3,28} \approx 86,3 < [\lambda] = 400 .$$

Производим проверочный расчёт:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{311}{2 \cdot 6,13} \approx 25,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R = 26,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} .$$

Вывод: принятый номер уголка удовлетворяет условию прочности и недонапряжение составляет:

$$\frac{R - \sigma}{R} = \frac{26,1 - 25,3}{26,1} \cdot 100 \approx 2,7\% < 15\%, \text{ что экономически выгодно.}$$

8.2. Проектирование количества профилей уголков

Количество профилей уголков, идущих на изготовление фермы, должно быть по возможности меньше. Это достигается за счёт замены части профилей большими, но так, чтобы общий вес фермы при этом не увеличился более чем на 3 %.

Количество разных профилей уголков в одной ферме обычно не превышает 5-6.

Пояса нижний и верхний принимаем постоянного сечения по всей длине, т.к. ферма пролётом менее 24 м.

Уменьшаем количество профилей уголков в ферме, производя две замены.

Заменяем сечение опорной стойки (3 – 8; 3' – 8')

2 63 × 40 × 4 на 2 63 × 6, 

промежуточного раскоса (12 – 13; 12' – 13')

2 63 × 5 на 2 63 × 6.  

9. РАСЧЁТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

9.1. Выбор способа сварки и типа сварных соединений

Т.к. протяжённость и толщина сварных швов сравнительно не велики, то принимаем однопроходную полуавтоматическую сварку, с электродами типа Э50А (рекомендуемый для стали 14Г2).

При этом коэффициент катета шва ε определяется по таблице 9.5 (2) стр. 27

Таблица 9.5.

Способ сварки	Коэффициенты катета шва
Ручная и многопроходная (более трёх) автоматическая и полуавтоматическая	$\varepsilon = 0,7$
Двух и трёхпроходная полуавтоматическая	$\varepsilon = 0,8$
Двух и трёхпроходная автоматическая и однопроходная полуавтоматическая	$\varepsilon = 0,9$

Однопроходная автоматическая	$\varepsilon = 1,0$
------------------------------	---------------------

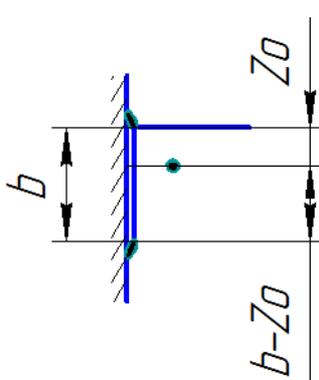
Тип сварных соединений принимаем нахлесточные, выполняемые угловыми швами без выводных планок, поэтому рабочая длина швов увеличивается на 10 мм. Каждый уголок приваривается к фасонке двумя фланговыми швами, при этом минимальная длина углового шва должна быть для швов с катетом $K \leq 10$ мм равна 40 мм, а при $K > 10$ мм - $l_{ш}^p = 4 \cdot K$.

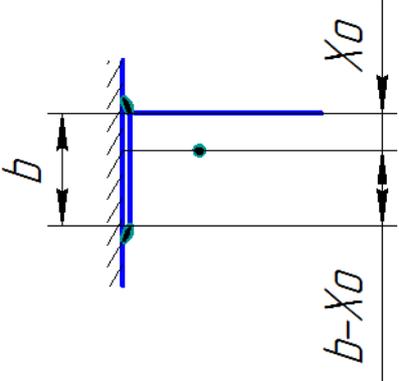
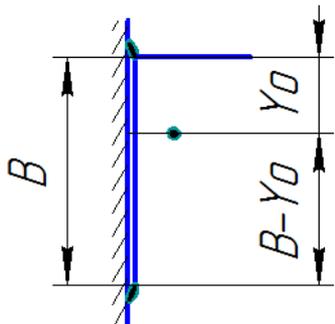
Максимальная длина фланговых швов должна быть не более $60 \cdot K$.

9.2. Распределение усилий (площадей швов или их длин при одинаковых катетах) между швами при приварке уголков к фасонке.

При распределении пользуемся таблицей 9.6.

Таблица 9.6.

Тип профилей	Схема приварки	Распределение усилий, площадей или длин швов при одинаковых катетах	
		у обушка	у пера
Уголок равнобокий		0,7	0,3

Уголок неравнобокий		0,75	0,25
		0,65	0,35

Распределяем усилия между швами у обушка уголка и у пера.

Например: усилие промежуточного раскоса (9 – 10; 9' – 10')

у обушка $N = 0,7 \cdot 726 \approx 508$ кН;

у пера $N = 0,3 \cdot 726 \approx 218$ кН.

9.1. Назначение катетов швов.

Размеры катетов угловых швов должны быть назначены возможно меньшими, но не менее указанных в табл. 9.7. (1) стр. 75

Исключение составляют швы у пера мелких прокатных профилей, но не менее 4 мм, меньше у тонких деталей.

Наибольшие размеры катета угловых швов у кромок прокатных профилей принимаются по табл. 9.8.

Таблица 9.7.

Толщина более толстого из сварных элементов в мм.	Минимальные размеры катета шва в конструкциях из стали класса	
	С 38/23 – С 44/29	С 46/33 – С 85/75
7 - 10	4	6
11 - 22	6	8
23 - 32	8	10
33 - 50	10	12
51 – и более	12	-

Таблица 9.8.

Уголок	Толщина полки, мм	$\delta \leq 9$	$9 < \delta \leq 20$		$\delta > 20$		
	Толщина шва	$\delta - 1$	$\delta - 2$		$\delta - 3$		
Двутавр	№ профиля	10 – 30	33	36	40 – 45	50	55 – 60
	Толщина шва	5	6	7	8	9	10
Швеллер	№ профиля	5 – 20	22 – 30	33, 36	40		
	Толщина шва	4	5	6	7		

При обрезке кромок у уголка $K_{max} = \delta$;

катет шва у обушка $\leq 1,2 \cdot \delta$, а также по кромке более толстого элемента.

9.4. Определение расчётного сопротивления сварных соединений.

Расчётное сопротивление углового шва при срезе определяем по таблице 10.9. с учётом коэффициента условия работы, принятого ранее для всей конструкции

$$R_y^{св.} = 0,9 \cdot 20 = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Расчётное сопротивление сварных соединений строительных конструкций, кН/см².

Таблица 9.9. (2) стр. 19

Тип шва	Вид деформации	Классы сталей						
		C38/2 3	C44/2 9	C46/3 3	C52/4 0	C60/4 5	C70/6 0	C85/7 0
Стыковой	Сжатие, $R_c^{св.}$	21	26	29	34	38	44	53
	Растяжение, $R_p^{св.}$ сварка автомат., полуавтомат. и ручная с физическим контролем	21	26	29	34	38	44	53

	качества							
	Растяжение, $R_p^{св.}$ сварка полуавтомат. и ручная	18	22	25	-	-	-	-
	Срез, $R_{ср.}^{св.}$	13	15	17	20	23	26	31
Угло вой	Срез, $R_y^{св.}$	18	20	20	21	24	28	34

9.2. Определение расчётных и рабочих длин сварных швов

Требуемые расчётные длины угловых швов при сварке уголков к фасонкам определяем из расчёта на один уголок по формуле:

$$l_{ш}^p \geq \frac{N}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{св.}}$$

Нижний пояс, стержень 2 - 9 (2' - 9') при сварке к фасонке в узле А (В).

Требуемая расчётная длина швов:

у обушка

$$l_{ш}^{p.o.} \geq \frac{N}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{св.}} = \frac{1130}{2 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 18} = 29,1 \text{ см} < 60 \cdot K_0 = 60 \cdot 1,2 = 72 \text{ см.}$$

у пера

$$l_{ш}^{p.п.} \geq \frac{N_{п.}}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{св.}} = \frac{380}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18} = 11,7 \text{ см} > 4 \text{ см.}$$

Требуемая рабочая длина швов:

у обушка

$$l_{\text{ш}}^{\text{о.}} = l_{\text{ш}}^{\text{р.о.}} + 1 \text{ см} = 29,1 + 1 \text{ см} = 30,1 \text{ см.}$$

у пера

$$l_{\text{ш}}^{\text{п.}} = l_{\text{ш}}^{\text{р.п.}} + 1 \text{ см} = 11,7 + 1 \text{ см} = 12,7 \text{ см.}$$

Принимаем $l_{\text{ш}}^{\text{о.}} = 30 \text{ см}; l_{\text{ш}}^{\text{п.}} = 13 \text{ см.}$

Опорная стойка, стержень 3 - 8 (3' - 8') при сварке к фасонкам в узлах А и А' (В и В').

Требуемая расчётная длина швов:

у обушка

$$l_{\text{ш}}^{\text{р.о.}} \geq \frac{N}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{\text{св.}}} = \frac{77}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 18} = 3,4 \text{ см} < 4 \text{ см.}$$

у пера

$$l_{\text{ш}}^{\text{р.п.}} \geq \frac{N_{\text{п.}}}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{\text{св.}}} = \frac{33}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 18} = 2,1 \text{ см} < 4 \text{ см.}$$

Конструктивные требования неудовлетворяются, следовательно, принимаем:

$$l_{\text{ш}}^{\text{р.о.}} = 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{о.}} = 4 + 1 = 5 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{р.п.}} = 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{п.}} = 4 + 1 = 5 \text{ см};$$

Промежуточные стойки, стержни 10 - 11, 13 - 13' (10' - 11') при сварке к фасонкам в узлах D, E, M, L (D', E').

$$l_{\text{ш}}^{\text{р.о.}} \geq \frac{154}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 18} = 6,8 \text{ см} < 60 \cdot K_0 = 60 \cdot 0,7 = 42 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{о.}} = 6,8 + 1 = 7,8 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{р.п.}} \geq \frac{66}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 18} = 4,2 \text{ см} > 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{п.}} = 4,1 + 1 = 5,1 \text{ см.}$$

Принимаем $l_{\text{ш}}^{\text{о.}} = 8 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{п.}} = 5 \text{ см.}$

Опорный раскос, стержень 8 - 9 (8' - 9') при сварке к фасонкам в узлах А и С (В и С').

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.o.}} \geq \frac{1070}{2 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 18} \approx 27,5 \text{ см} < 60 \cdot K_0 = 60 \cdot 1,2 = 72 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 27,5 + 1 = 28,5 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.n.}} \geq \frac{570}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18} \approx 17,6 \text{ см} > 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 17,6 + 1 = 18,6 \text{ см}.$$

Принимаем $l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 28 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 19 \text{ см}.$

Промежуточные раскосы, стержень 9 - 10 (9' - 10') при сварке к фасонкам в узлах С и Е (С' и Е').

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.o.}} \geq \frac{508}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18} \approx 15,7 \text{ см} < 60 \cdot K_0 = 60 \cdot 1 = 60 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 15,7 + 1 = 16,7 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.n.}} \geq \frac{218}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 18} \approx 13,5 \text{ см} > 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 13,5 + 1 = 14,5 \text{ см}.$$

Принимаем $l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 17 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 15 \text{ см}.$

Промежуточный раскос, стержень 11 - 12 (11' - 12') при сварке к фасонкам в узлах К и Е (К' и Е').

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.o.}} \geq \frac{428}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18} \approx 13,2 \text{ см} < 60 \cdot K_0 = 60 \cdot 1 = 60 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 13,2 + 1 = 14,2 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.n.}} \geq \frac{184}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 18} \approx 11,4 \text{ см} > 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 11,4 + 1 = 12,4 \text{ см}.$$

Принимаем $l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 14 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 12 \text{ см}.$

Промежуточный раскос, стержень 12 - 13 (12' - 13') при сварке к фасонкам в узлах К и L (К' и L').

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.o.}} \geq \frac{218}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 18} = 9,6 \text{ см} < 60 \cdot K_0 = 60 \cdot 0,7 = 42 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{o.}} = 9,6 + 1 = 10,6 \text{ см};$$

$$l_{\text{ш}}^{\text{p.n.}} \geq \frac{93}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 18} = 5,7 \text{ см} > 4 \text{ см}; \quad l_{\text{ш}}^{\text{n.}} = 5,7 + 1 = 6,7 \text{ см}$$

Принимаем $l_{ш}^o = 11$ см; $l_{ш}^п = 7$ см.

Принятую рабочую длину сварных швов уточняем при конструировании узлов фермы из условия получения фасонок простейшей фермы.

9.3. Конструирование узлов фермы.

Конструирование узлов фермы производится при составлении детализированного рабочего чертежа фермы и заключается, помимо вычерчивания узлов, в определении размеров фасонок, взаимного расположения стержней, длин сварных швов, расстояние между прокладками и пр., т.к. все эти размеры должны быть поставлены на чертеже. Все размеры должны быть определены в пределах точности изготовления стальных конструкций, которая обычно составляет 2...5 мм. Конструирование фермы начинается с проведения осевых линий стержней, соответствующих геометрической схеме фермы. В сварных фермах осью стержня является ось, проходящая через центр тяжести сечения, расстояние которого от обушка берётся по сортаменту с округлением последующей цифры до 0 или 5 в целых миллиметрах. Вдоль осей наносятся в масштабе контуры сечений.

В тех случаях, когда изображение элементов и узлов в масштабе, принятом для геометрической схемы, получаются очень мелкими, то для полученных размеров стержней принимается более крупный масштаб, сохраняемый и для длин стержней, и элементов в пределах узлов. Изображение фермы получается при этом таким, как будто длины стержней между узлами сокращены по сравнению с размерами узла. При таком изображении длины стержней получают вычислением.

Для увеличения жёсткости узлов и уменьшения размеров фасонок стержни подводят друг к другу возможно ближе, но не ближе 30 – 50 мм. Это расстояние на чертежах не проставляется, а проставляется расстояние от центра узла до начала стержня. Расстояние от центра узла до начала стержня выбирают так, чтобы зазор между стержнями оставался ≥ 50 мм, а длина стержня выражалась бы в сантиметрах, что удобно при изготовлении. Форму и размеры фасонки устанавливают после нанесения принятых рабочих длин сварных швов, прикрепляющих стержни к фасонкам. При нанесении контура фасонки надо стремиться к простейшему её очертанию в виде прямоугольника или трапеции, для того, чтобы при изготовлении фасонки требовалось наименьшее количество резов. При традиционном очертании фасонка должна быть обращена к поясу большим основанием или высотой.

При конструировании фасонки надо стремиться к симметричному расположению их относительно центра узла, для чего в несимметричных фасонках конструктивно развивают их длину у поясов.

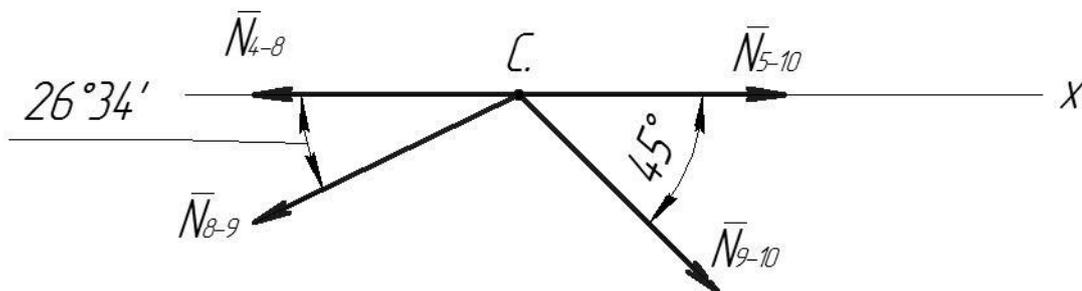
Очертания фасонки в узлах пояса в случае примыкания одной стойки /подвески/ или стойки /подвески/ с одним раскосом принимают трапециевидальным с двумя прямыми углами. Фасонки сварных ферм выпускают за пределы пояса на расстояние 10 – 15 мм, достаточное для наложения шва у обушка.

Сварные швы, прикрепляющие фасонки к поясам, рассчитываются на равнодействующую усилий в стержнях решётки, сходящиеся в узле.

Для промежуточных узлов фермы равнодействующая усилий невелика и поэтому сварные швы, крепящие фасонку к поясам проверки не требуют. Сварные швы здесь назначаются конструктивно с катетом около 6 мм.

В ближайшем к опоре узлам равнодействующая усилий может оказаться значительной, и сварные швы здесь требуют проверки.

Узел С (С).



$$R = \sum F_{ix} = N_{9-10} \cdot \cos 45^\circ - N_{8-9} \cdot \cos 26^\circ 34' = 726 \cdot 0,7071 - (-1640) \cdot 0,8945 \approx 1980 \text{ кН.}$$

Принимаем $K = 10 \text{ мм.}$

Определяем требуемую длину сварных швов:

у обушка

$$l_{\text{ш.}}^{\text{р.о.}} \geq \frac{0,75 \cdot R}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{\text{св.}}} = \frac{0,75 \cdot 1980}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18} \approx 45,8 \text{ см; } l_{\text{ш.}}^{\text{о.}} = 45,8 + 1 = 46,8 \text{ см;}$$

у пера

$$l_{ш.}^{p.o.} \geq \frac{0,25 \cdot R}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{CB.}} = \frac{0,25 \cdot 1980}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18} \approx 15,3 \text{ см}; \quad l_{ш.}^o = 15,3 + 1 = 16,3 \text{ см};$$

Конструктивно принимаем рабочую длину швов равную длине прокладки в узле.

$$l_{ш.}^o = 115 \text{ см}; \quad l_{ш.}^{п.} = 100 \text{ см}$$

В остальных узлах фермы сварные швы назначаем конструктивно с катетом $K = 10$ мм.

9.4. Расчёт и конструирование опорного узла фермы.

При конструировании опорных узлов фермы должны быть соблюдены условия:
направление реакции должно проходить через центр опорного узла;
сжатый пояс должен проходить над опорой не прерываясь;
узел должен обладать достаточной жёсткостью.

9.7.1. Опираение фермы на железобетонную колонну.

Толщина опорной плиты принимается обычно равной $\delta = 20$ мм. Расстояние от горизонтальной полки нижнего пояса до опорной плиты принимается не менее ширины полки для удобства сварки. Центрирование узла и опорной плиты производится на ось ребра жёсткости, толщина ребра жёсткости принимается равной толщине прокладки.

В опорной плите просверливают два отверстия $\varnothing 70 \dots 80$ мм, под анкерные болты М 24...М 27.

Ширина опорной плиты принимается $b = 400$ мм.

Длина – определяется из условия прочности бетона при смятии.

$$l \geq \frac{n \cdot R_a}{B \cdot R_{см.δ.}} = \frac{1,1 \cdot 1100}{40 \cdot 0,8} \approx 37,8 \text{ см.}$$

Принимаем $l = 38$ см.

$R_{см.δ.} = 0,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ – расчётное сопротивление бетона при смятии (марки 200)

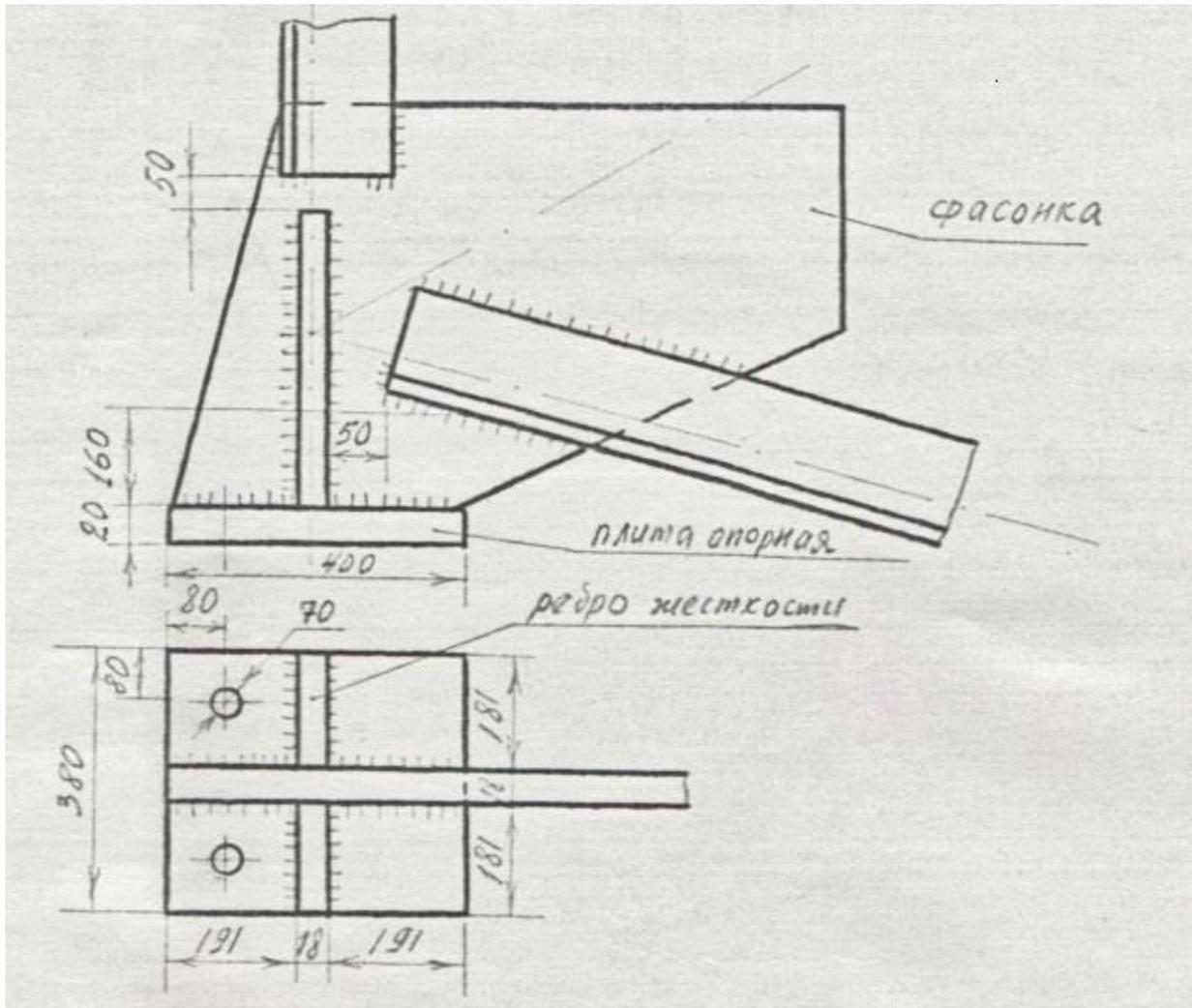


Рисунок 9.1.

Проверка прочности при срезе сварных швов, прикрепляющих фасонку и ребра жёсткости к опорной плите, приняв катет швов $K = 10$ мм.

Расчётная длина сварных швов с учётом не провара:

$$l'_{ш.} = 2(40 - 1,8 - 2) + 2(38 - 1,8 - 2) \approx 141 \text{ см.}$$

Рабочее напряжение в швах.

$$\tau_{ср.} = \frac{n \cdot R_a}{\varepsilon \cdot K \cdot l'_{ш.}} = \frac{1,1 \cdot 1100}{0,9 \cdot 1 \cdot 141} \approx 9,54 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{у^{св.}} = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятые размеры сварных швов удовлетворяют условию прочности при срезе.

9.7.2. Опираение фермы на металлическую колонну (сбоку).

Для обеспечения жёсткости к колонне крепят опорные узлы нижнего и верхнего пояса.

Опорный узел верхнего пояса состоит из фасонки фермы и опорного листа. Опорный узел нижнего и верхнего пояса центрируется на ось опорного листа. Опорный узел нижнего пояса состоит из фасонки фермы, опорного листа и опорного столика.

Зазор между стержнями фермы и опорным листом принимается не менее 50 мм.

Толщина опорного листа принимается не менее 20 мм, ширина – из условия расположения болтов, крепящих опорный лист к колонне, высота – из условия прочности сварных швов, крепящих фасонку фермы к опорному листу.

Опорный столик изготавливается в виде планки из листа или уголка с обрезной полкой. Ширина опорного столика больше ширины опорного листа на 10...20 мм, высота определяется из условия прочности сварных швов, крепящих опорный столик к колонне.

Нижний опорный узел.

Толщину опорного листа принимаем $\delta = 20$ мм, ширину $b = 200$ мм с отверстиями $\varnothing 27$ мм под болты М 24. Высоту принимаем на 50 мм больше высоты опорной фасонки $h = 550 + 50 = 600$ мм.

Проверяем прочность сварных швов, прикрепляющих опорную фасонку к опорному листу, приняв катет шва $K = 10$ мм, расчётную длину шва

$$l_{ш.}^p = 55 - 1 = 54 \text{ см.}$$

$$\tau_{ср.} = \frac{n \cdot R_a}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot l_{ш.}^p} = \frac{1,1 \cdot 1100}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 54} = 12,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y^{св.} = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятые размеры сварных швов удовлетворяют условию прочности при срезе.

Проверяем прочность опорного листа при смятии. Расчётное сопротивление при смятии определяем по таблице 8.2. с учётом коэффициента условия работы

$$R_{\text{см.т.}} = 43 \cdot 0,9 = 38,7 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{n \cdot R_a}{b \cdot \delta} = \frac{1,1 \cdot 1100}{20 \cdot 2} = 30,2 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{\text{см.т.}} = 38,7 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятые размеры опорного листа удовлетворяют условию прочности при смятии.

Ширину опорного столика принимаем:

$$b_1 = b + 20 \text{ мм} = 200 + 20 = 220 \text{ мм}.$$

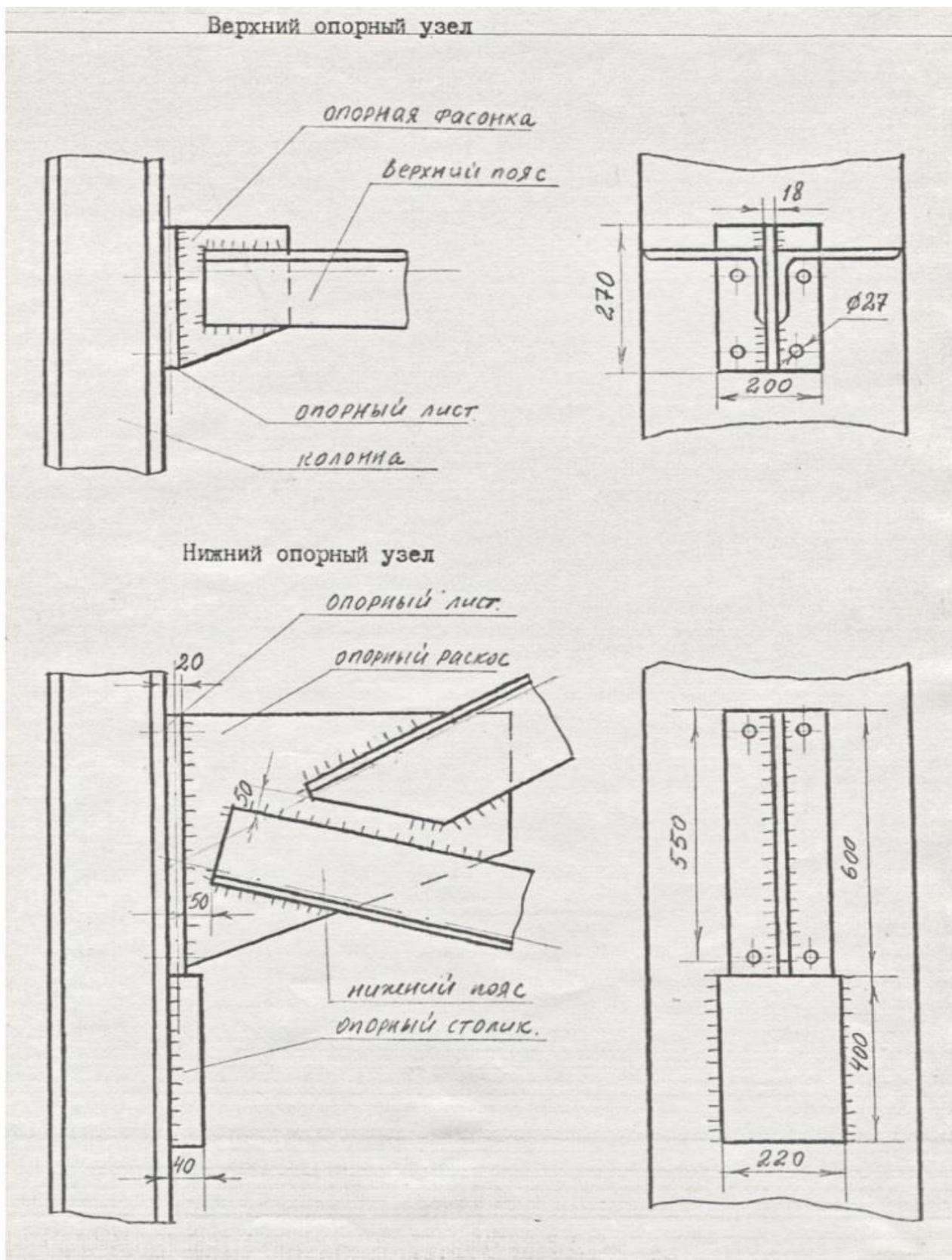
Определяем высоту опорного столика из условия прочности сварных швов, крепящих опорный столик к колонне.

Толщину опорного столика принимаем $\delta = 40$ мм. Сварные швы, крепящие опорный столик принимаем с катетом $K = 12$ мм.

Учитывая некоторый эксцентриситет в передаче нагрузки, расчёт ведём на опорную реакцию увеличенную на 25%, тогда требуемая расчётная длина одного сварного шва будет равна:

$$l_{\text{ш}}^p \geq \frac{1,25 \cdot n \cdot R_a}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{\text{св.}}} = \frac{1,25 \cdot 1,1 \cdot 1100}{2 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 18} = 38,9 \text{ см}.$$

Рисунок 9.2.



Рабочая длина сварного шва $l_{ш} = 38,9 + 1 = 39,9$ см.

Принимаем высоту опорного столика $h_1 = 400$ мм.

Верхний опорный узел.

Размеры опорной фасонки принимаем конструктивно, из условия размещения сварных швов, крепящих верхний пояс, т.к. усилие в верхнем поясе равно нулю, то длину швов принимаем не менее ширины полки уголка $l_{ш} = 160$ мм.

Зазор между опорным листом и стержнем верхнего пояса не менее 50 мм. Высота фасонки определяется из условия наложения шва у обушка уголка, т.е. выпуск фасонки за обушок = 20 мм и развитие высоты фасонки в направлении узловой нагрузки ($h = 270$ мм). Толщину опорного листа принимаем 20 мм, высоту – 270 мм, ширину 200 мм.

Проверяем прочность сварных швов, крепящих опорный лист к фасонке, приняв катет шва $K = 10$ мм, расчётную длину шва

$$l_{ш}^p = 27 - 1 = 26 \text{ см};$$

$$\tau_{ср.} = \frac{110}{2 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot l_{ш}^p} = \frac{110}{2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 26} = 2,35 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{у}^{св.} = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Вывод: принятые размеры сварного шва удовлетворяют условию прочности при срезе.

9.5. Расчёт и конструирование стыков элементов ферм.

Стыки проектируются в поясах фермы, если их длина превышает нормальную длину прокатных профилей (12-14 м), а так же в местах переломов поясов.

Пояс в месте стыка должен быть перекрыт накладками, обеспечивающими не только прочность стыка, но и достающую жёсткость его как в плоскости фермы, так и из плоскости фермы.

Для обеспечения прочности суммарная площадь накладок должна быть не меньше площади поясных уголков, а для обеспечения жёсткости стыка и во избежание создания эксцентриситета при передаче усилия с пояса на накладки, необходимо перекрыть обе полки уголков пояса накладками.

Наиболее удобны для перекрытия угловые накладки. Накладки берутся того же сечения, что и перекрываемые ими элементы и срезаются фаски у обушка, для того чтобы их можно было плотно прижать у пояса; и вертикальную полку на 20...30 мм с тем, чтобы её можно было плотно приварить к вертикальной полке пояса.

При такой конструкции стыка расчёту подлежат только сварные швы угловых накладок, т.к. прочность самих накладок обеспечивается, потому что расчётная их площадь равна площади накладок и части площади фасонки с высотой, равной высоте постоянных уголков.

Усилие, приходящееся на половину угловой накладки, распределяется между всеми четырьмя сварными швами поровну.

Узел Е (Е')

Принимаем накладку, состоящую из двух уголков $250 \times 160 \times 12$ со срезанной фаской у обушка и со срезанной на 20 мм узкой полкой.

Определяем расчётную длину одного сварного шва, крепящего накладку к поясу, приняв катет шва $K = 12$ мм.

$$l_{\text{ш.}}^{\text{р.}} \geq \frac{N_{1-12}}{4 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot R_y^{\text{св.}}} = \frac{2420}{4 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 18} \approx 31,1 \text{ см.}$$

Рабочая длина шва $l_{\text{ш.}} = 31,1 + 1 = 32,1$ см.

Определяем длину накладок

$$l = 2 \cdot 32,1 + 4 = 68,2 \text{ см.}$$

Принимаем накладку $2 \quad \begin{array}{l} | \\ 250 \times 130 \times 12, l = 680 \text{ мм с углом загиба } 14^\circ 2' \end{array}$

9.6. Конструирование прокладок.

При расчёте элементов фермы, сечения которых составлены из двух уголков предполагается совместная их работа, как одного стержня.

Для обеспечения совместной работы уголков достаточно соединить их между собой прокладками. Определяем требуемое расстояние между прокладками для всех элементов фермы и сравниваем с расстоянием между центрами сварных швов, крепящих стержни к узловым фасонкам в противоположных узлах фермы.

По верхнему поясу $l \leq 40 \cdot 8,02 \approx 321 \text{ см} > 185 \text{ см}.$

По нижнему поясу $l \leq 80 \cdot 8,07 \approx 646 \text{ см} > 365 \text{ см}.$

Опорная стойка $l > 62 \text{ см};$

Промежуточная стойка $l \leq 40 \cdot 1,93 \approx 77 \text{ см} < 154 \text{ см}.$

Опорный раскос $l \leq 40 \cdot 3,58 \approx 143 \text{ см} > 130 \text{ см}.$

Промежточные раскосы:

9 – 10 (9' – 10') $l \leq 80 \cdot 2,76 \approx 221 \text{ см} > 208 \text{ см}.$

11 – 12 (11' – 12') $l \leq 40 \cdot 3,39 \approx 136 \text{ см} < 216 \text{ см}.$

12 – 13 (12' – 13') $l \leq 80 \cdot 1,94 \approx 155 \text{ см} > 224 \text{ см}.$

Вывод: в стержнях верхнего и нижнего пояса, опорной стойке, опорном раскосе и промежуточном раскосе 9 – 10 (9' – 10') прокладки ставить нужно конструктивно по одной.

В промежуточных стойках и промежуточном раскосе ставим прокладки $b \times h \times \delta = 60 \times 80 \times 18$ по одной, накладывая сварные швы с катетом $K = 5 \text{ мм}.$

В промежуточном раскосе 12 – 13 (12' – 13') ставим прокладку $b \times h \times \delta = 60 \times 130 \times 18$, накладывая сварные швы с катетом $K=10 \text{ мм}.$

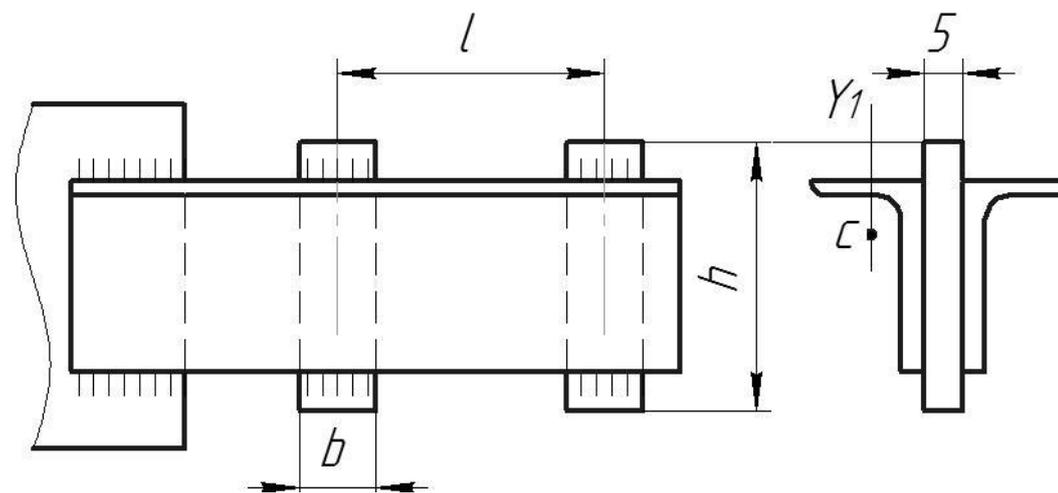


Рисунок 9.3.

Таблица 9.10.

Наименование параметров		Размеры параметров
Расстояние между прокладками	для сжатых стержней	$l \leq 40 \cdot J_{1y}$
	для растянутых стержней	$l \leq 80 \cdot J_{1y}$
Толщина прокладок		$\delta =$ толщина фасонок
Ширина прокладок		$b = 60 \dots 80$ мм
Высота прокладок		$h =$ ширина полки уголка + 15...20 мм
J_{1y} – радиус инерции одного уголка относительно оси y_1		

10. СОСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ

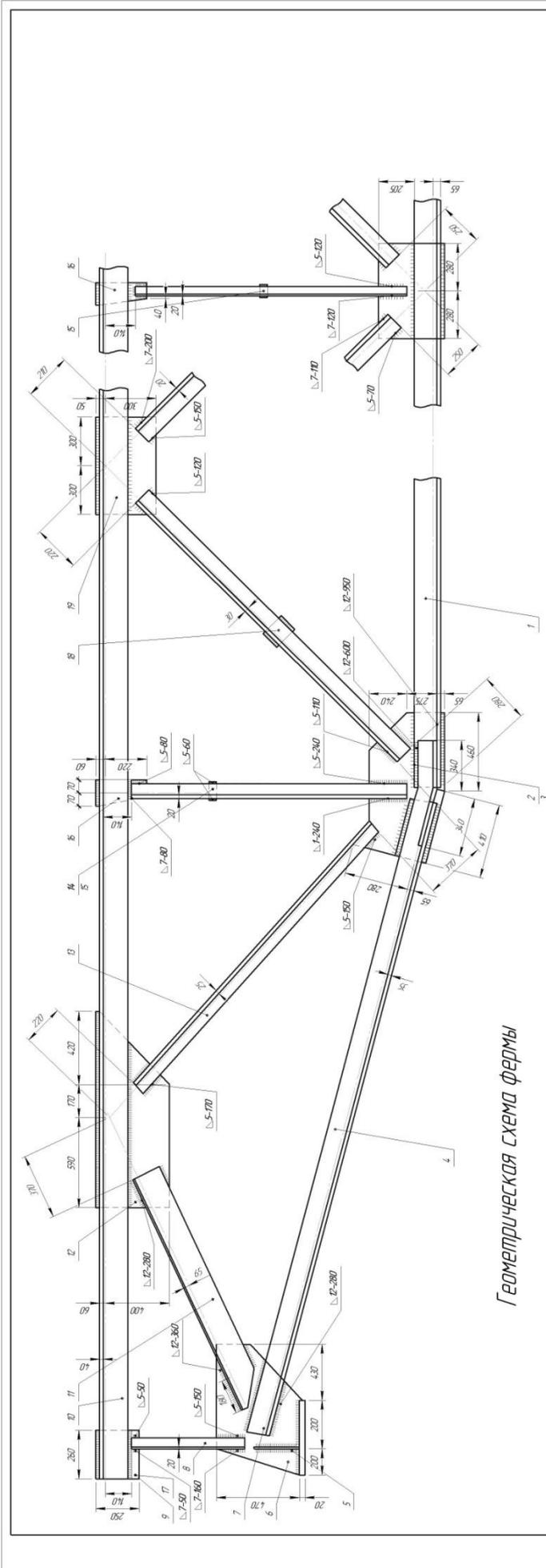
Для составления спецификации определяются рабочая длина стержней и размеры узловых фасонки по рабочему чертежу фермы или рабочим чертежам узлов с округлением размеров до целых сантиметров.

Определяется масса фермы и наплавленного металла. Для прокатных профилей масса определяется по таблицам сортамента, для листового проката – как произведение объёма на плотность стали

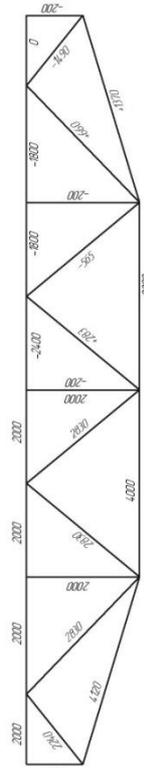
$$\rho \approx 0,0078 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^3}.$$

Масса наплавленного металла составляет 1% от массы основного металла.

11. ЧЕРТЕЖ ФЕРМЫ



Геометрическая схема фермы



Наименование элементов	Обозначение (маркировка)	Уклоны в стержнях		Длины стержней		Прекращение	Радиусы инерции		Глубина	Коэффициент продольного изгиба	Рабочие напряжения		Принятое сечение	Аварийные усилия по швам		Катеты швов		Расчетные длины швов		Рабочие длины швов	
		α	β	l	l ₀		α	β			σ _к	σ _с		σ _с	σ _с	σ _с	σ _с	σ _с	σ _с	σ _с	σ _с
Верхний пояс	1-8, 1-9, 2-11, 2-12, 3-13, 3-14, 4-15, 4-16, 5-17, 5-18, 6-19, 6-20	0	0	200	400	Δ 200-60-8	218	218	4,37	0,86	-24,1	33,1	Δ 200-60-8	180	380	12	10	29,1	11,7	30	13
Нижний пояс	2-9, 2-9, 3-10, 3-11, 4-12, 4-13, 5-14, 5-15, 6-16, 6-17, 7-18, 7-19, 8-20, 8-21, 9-22, 9-23, 10-24, 10-25, 11-26, 11-27, 12-28, 12-29, 13-30, 13-31, 14-32, 14-33, 15-34, 15-35, 16-36, 16-37, 17-38, 17-39, 18-40, 18-41, 19-42, 19-43, 20-44, 20-45, 21-46, 21-47, 22-48, 22-49, 23-50, 23-51, 24-52, 24-53, 25-54, 25-55, 26-56, 26-57, 27-58, 27-59, 28-60, 28-61, 29-62, 29-63, 30-64, 30-65, 31-66, 31-67, 32-68, 32-69, 33-70, 33-71, 34-72, 34-73, 35-74, 35-75, 36-76, 36-77, 37-78, 37-79, 38-80, 38-81, 39-82, 39-83, 40-84, 40-85, 41-86, 41-87, 42-88, 42-89, 43-90, 43-91, 44-92, 44-93, 45-94, 45-95, 46-96, 46-97, 47-98, 47-99, 48-100, 48-101, 49-102, 49-103, 50-104, 50-105, 51-106, 51-107, 52-108, 52-109, 53-110, 53-111, 54-112, 54-113, 55-114, 55-115, 56-116, 56-117, 57-118, 57-119, 58-120, 58-121, 59-122, 59-123, 60-124, 60-125, 61-126, 61-127, 62-128, 62-129, 63-130, 63-131, 64-132, 64-133, 65-134, 65-135, 66-136, 66-137, 67-138, 67-139, 68-140, 68-141, 69-142, 69-143, 70-144, 70-145, 71-146, 71-147, 72-148, 72-149, 73-150, 73-151, 74-152, 74-153, 75-154, 75-155, 76-156, 76-157, 77-158, 77-159, 78-160, 78-161, 79-162, 79-163, 80-164, 80-165, 81-166, 81-167, 82-168, 82-169, 83-170, 83-171, 84-172, 84-173, 85-174, 85-175, 86-176, 86-177, 87-178, 87-179, 88-180, 88-181, 89-182, 89-183, 90-184, 90-185, 91-186, 91-187, 92-188, 92-189, 93-190, 93-191, 94-192, 94-193, 95-194, 95-195, 96-196, 96-197, 97-198, 97-199, 98-200, 98-201, 99-202, 99-203, 100-204, 100-205, 101-206, 101-207, 102-208, 102-209, 103-210, 103-211, 104-212, 104-213, 105-214, 105-215, 106-216, 106-217, 107-218, 107-219, 108-220, 108-221, 109-222, 109-223, 110-224, 110-225, 111-226, 111-227, 112-228, 112-229, 113-230, 113-231, 114-232, 114-233, 115-234, 115-235, 116-236, 116-237, 117-238, 117-239, 118-240, 118-241, 119-242, 119-243, 120-244, 120-245, 121-246, 121-247, 122-248, 122-249, 123-250, 123-251, 124-252, 124-253, 125-254, 125-255, 126-256, 126-257, 127-258, 127-259, 128-260, 128-261, 129-262, 129-263, 130-264, 130-265, 131-266, 131-267, 132-268, 132-269, 133-270, 133-271, 134-272, 134-273, 135-274, 135-275, 136-276, 136-277, 137-278, 137-279, 138-280, 138-281, 139-282, 139-283, 140-284, 140-285, 141-286, 141-287, 142-288, 142-289, 143-290, 143-291, 144-292, 144-293, 145-294, 145-295, 146-296, 146-297, 147-298, 147-299, 148-300, 148-301, 149-302, 149-303, 150-304, 150-305, 151-306, 151-307, 152-308, 152-309, 153-310, 153-311, 154-312, 154-313, 155-314, 155-315, 156-316, 156-317, 157-318, 157-319, 158-320, 158-321, 159-322, 159-323, 160-324, 160-325, 161-326, 161-327, 162-328, 162-329, 163-330, 163-331, 164-332, 164-333, 165-334, 165-335, 166-336, 166-337, 167-338, 167-339, 168-340, 168-341, 169-342, 169-343, 170-344, 170-345, 171-346, 171-347, 172-348, 172-349, 173-350, 173-351, 174-352, 174-353, 175-354, 175-355, 176-356, 176-357, 177-358, 177-359, 178-360, 178-361, 179-362, 179-363, 180-364, 180-365, 181-366, 181-367, 182-368, 182-369, 183-370, 183-371, 184-372, 184-373, 185-374, 185-375, 186-376, 186-377, 187-378, 187-379, 188-380, 188-381, 189-382, 189-383, 190-384, 190-385, 191-386, 191-387, 192-388, 192-389, 193-390, 193-391, 194-392, 194-393, 195-394, 195-395, 196-396, 196-397, 197-398, 197-399, 198-400, 198-401, 199-402, 199-403, 200-404, 200-405, 201-406, 201-407, 202-408, 202-409, 203-410, 203-411, 204-412, 204-413, 205-414, 205-415, 206-416, 206-417, 207-418, 207-419, 208-420, 208-421, 209-422, 209-423, 210-424, 210-425, 211-426, 211-427, 212-428, 212-429, 213-430, 213-431, 214-432, 214-433, 215-434, 215-435, 216-436, 216-437, 217-438, 217-439, 218-440, 218-441, 219-442, 219-443, 220-444, 220-445, 221-446, 221-447, 222-448, 222-449, 223-450, 223-451, 224-452, 224-453, 225-454, 225-455, 226-456, 226-457, 227-458, 227-459, 228-460, 228-461, 229-462, 229-463, 230-464, 230-465, 231-466, 231-467, 232-468, 232-469, 233-470, 233-471, 234-472, 234-473, 235-474, 235-475, 236-476, 236-477, 237-478, 237-479, 238-480, 238-481, 239-482, 239-483, 240-484, 240-485, 241-486, 241-487, 242-488, 242-489, 243-490, 243-491, 244-492, 244-493, 245-494, 245-495, 246-496, 246-497, 247-498, 247-499, 248-500, 248-501, 249-502, 249-503, 250-504, 250-505, 251-506, 251-507, 252-508, 252-509, 253-510, 253-511, 254-512, 254-513, 255-514, 255-515, 256-516, 256-517, 257-518, 257-519, 258-520, 258-521, 259-522, 259-523, 260-524, 260-525, 261-526, 261-527, 262-528, 262-529, 263-530, 263-531, 264-532, 264-533, 265-534, 265-535, 266-536, 266-537, 267-538, 267-539, 268-540, 268-541, 269-542, 269-543, 270-544, 270-545, 271-546, 271-547, 272-548, 272-549, 273-550, 273-551, 274-552, 274-553, 275-554, 275-555, 276-556, 276-557, 277-558, 277-559, 278-560, 278-561, 279-562, 279-563, 280-564, 280-565, 281-566, 281-567, 282-568, 282-569, 283-570, 283-571, 284-572, 284-573, 285-574, 285-575, 286-576, 286-577, 287-578, 287-579, 288-580, 288-581, 289-582, 289-583, 290-584, 290-585, 291-586, 291-587, 292-588, 292-589, 293-590, 293-591, 294-592, 294-593, 295-594, 295-595, 296-596, 296-597, 297-598, 297-599, 298-600, 298-601, 299-602, 299-603, 300-604, 300-605, 301-606, 301-607, 302-608, 302-609, 303-610, 303-611, 304-612, 304-613, 305-614, 305-615, 306-616, 306-617, 307-618, 307-619, 308-620, 308-621, 309-622, 309-623, 310-624, 310-625, 311-626, 311-627, 312-628, 312-629, 313-630, 313-631, 314-632, 314-633, 315-634, 315-635, 316-636, 316-637, 317-638, 317-639, 318-640, 318-641, 319-642, 319-643, 320-644, 320-645, 321-646, 321-647, 322-648, 322-649, 323-650, 323-651, 324-652, 324-653, 325-654, 325-655, 326-656, 326-657, 327-658, 327-659, 328-660, 328-661, 329-662, 329-663, 330-664, 330-665, 331-666, 331-667, 332-668, 332-669, 333-670, 333-671, 334-672, 334-673, 335-674, 335-675, 336-676, 336-677, 337-678, 337-679, 338-680, 338-681, 339-682, 339-683, 340-684, 340-685, 341-686, 341-687, 342-688, 342-689, 343-690, 343-691, 344-692, 344-693, 345-694, 345-695, 346-696, 346-697, 347-698, 347-699, 348-700, 348-701, 349-702, 349-703, 350-704, 350-705, 351-706, 351-707, 352-708, 352-709, 353-710, 353-711, 354-712, 354-713, 355-714, 355-715, 356-716, 356-717, 357-718, 357-719, 358-720, 358-721, 359-722, 359-723, 360-724, 360-725, 361-726, 361-727, 362-728, 362-729, 363-730, 363-731, 364-732, 364-733, 365-734, 365-735, 366-736, 366-737, 367-738, 367-739, 368-740, 368-741, 369-742, 369-743, 370-744, 370-745, 371-746, 371-747, 372-748, 372-749, 373-750, 373-751, 374-752, 374-753, 375-754, 375-755, 376-756, 376-757, 377-758, 377-759, 378-760, 378-761, 379-762, 379-763, 380-764, 380-765, 381-766, 381-767, 382-768, 382-769, 383-770, 383-771, 384-772, 384-773, 385-774, 385-775, 386-776, 386-777, 387-778, 387-779, 388-780, 388-781, 389-782, 389-783, 390-784, 390-785, 391-786, 391-787, 392-788, 392-789, 393-790, 393-791, 394-792, 394-793, 395-794, 395-795, 396-796, 396-797, 397-798, 397-799, 398-800, 398-801, 399-802, 399-803, 400-804, 400-805, 401-806, 401-807, 402-808, 402-809, 403-810, 403-811, 404-812, 404-813, 405-814, 405-815, 406-816, 406-817, 407-818, 407-819, 408-820, 408-821, 409-822, 409-823, 410-824, 410-825, 411-826, 411-827, 412-828, 412-829, 413-830, 413-831, 414-832, 414-833, 415-834, 415-835, 416-836, 416-837, 417-838, 417-839, 418-840, 418-841, 419-842, 419-843, 420-844, 420-845, 421-846, 421-847, 422-848, 422-849, 423-850, 423-851, 424-852, 424-853, 425-854, 425-855, 426-856, 426-857, 427-858, 427-859, 428-860, 428-861, 429-862, 429-863, 430-864, 430-865, 431-866, 431-867, 432-868, 432-869, 433-870, 433-871, 434-872, 434-873, 435-874, 435-875, 436-876, 436-877, 437-878, 437-879, 438-880, 438-881, 439-882, 439-883, 440-884, 440-885, 441-886, 441-887, 442-888, 442-889, 443-890, 443-891, 444-892, 444-893, 445-894, 445-895, 446-896, 446-897, 447-898, 447-899, 448-900, 448-901, 449-902, 449-903, 450-904, 450-905, 451-906, 451-907, 452-908, 452-909, 453-910, 453-911, 454-912, 454-913, 455-914, 455-915, 456-916, 456-917, 457-918, 457-919, 458-920, 458-921, 459-922, 459-923, 460-924, 460-925, 461-926, 461-927, 462-928, 462-929, 463-930, 463-931, 464-932, 464-933, 465-934, 465-935, 466-936, 466-937, 467-938, 467-939, 468-940, 468-941, 469-942, 469-943, 470-944, 470-945, 471-946, 471-947, 472-948, 472-949, 473-950, 473-951, 474-952, 474-953, 475-954, 475-955, 476-956, 476-957, 477-958, 477-959, 478-960, 478-961, 479-962, 479-963, 480-964, 480-965, 481-966, 481-967, 482-968, 482-969, 483-970, 483-971, 484-972, 484-973, 485-974, 485-975, 486-976, 486-977, 487-978, 487-979, 488-980, 488-981, 489-982, 489-983, 490-984, 490-985, 491-986, 491-987, 492-988, 492-989, 493-990, 493-991, 494-992, 494-993, 495-994, 495-995, 496-996, 496-997, 497-998, 497-999, 498-1000, 498-1001, 499-1002, 499-1003, 500-1004, 500-1005, 501-1006, 501-1007, 502-1008, 502-1009, 503-1010, 503-1011, 504-1012, 504-1013, 505-1014, 505-1015, 506-1016, 506-1017, 507-1018, 507-1019, 508-1020, 508-1021, 509-1022, 509-1023, 510-1024, 510-1025, 511-1026, 511-1027, 512-1028, 512-1029, 513-1030, 513-1031, 514-1032, 514-1033, 515-1034, 515-1035, 516-1036, 516-1037, 517-1038, 517-1039, 518-1040, 518-1041, 519-1042, 519-1043, 520-1044, 520-1045, 521-1046, 521-1047, 522-1048, 522-1049, 523-1050, 523-1051, 524-1052, 524-1053, 525-1054, 525-1055, 526-1056, 526-1057, 527-1058, 527-1059, 528-1060, 528-1061, 529-1062, 529-1063, 530-1064, 530-1065, 531-1066, 531-1067, 532-1068, 532-1069, 533-1070, 533-1071, 534-1072, 534-1073, 535-1074, 535-1075, 536-1076, 536-1077, 537-1078, 537-1079, 538-1080, 538-1081, 539-1082, 539-1083, 540-1084, 540-1085, 541-1086, 541-1087, 542-1088, 542-1089, 543-1090, 543-1091, 544-1092, 544-1093, 545-1094, 545-1095, 546-1096, 546-1097, 547-1098, 547-1099, 548-1100, 548-1101, 549-1102, 549-1103, 550-1104, 550-1105, 551-1106, 551-1107, 552-1108, 552-1109, 553-1110, 553-1111, 554-1112, 554-1113, 555-1114, 555-1115, 556-1116, 556-1117, 557-1118, 557-1119, 558-1120, 558-1121, 559-1122, 559-1123, 560-1124, 560-1125, 561-1126, 561-1127, 562-1128, 562-1129, 563-1130, 563-1131, 564-1132, 564-1133,																				

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

Овчинников В.В. Расчет и проектирование сварных конструкций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 256 с.

Овчинников В.В. Расчет и проектирование сварных конструкций: Практикум и курсовое проектирование: Учебное пособие для студ. сред. проф. образования – М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Уголок равнобокий (ГОСТ 8509-93)

($z_0 = x_0$)

Номер угол- ка	b	t	R	r	F _y см ²	Справочные значения величин для осей										Масса 1 м, кг
						x - x			y ₀ - y ₀		y ₀ - y ₀			I _{yy} , см ⁴	x ₀ , см	
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{y0} max, см ⁴	i _{y0} max, см	I _{y0} min, см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} min, см			
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	0,39	0,23	0,60	0,89
		4	3,5	1,2	1,46	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	0,38	0,28	0,64	1,15
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,47	0,73	1,12
		4	3,5	1,2	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,59	0,76	1,46
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,68	0,80	1,27
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85	0,85	1,36
		4	4,0	1,3	2,27	1,84	0,87	0,90	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	1,08	0,89	1,78
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	1,03	0,89	1,46
		4	4,5	1,5	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	1,32	0,94	1,91
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97	1,60
		4	4,5	1,5	2,67	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,75	1,01	2,10
		5	4,5	1,5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	2,10	1,05	2,58
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09	1,85
		4	5,0	1,7	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13	2,42
		5	5,0	1,7	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17	2,98
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21	2,08
		4	5,0	1,7	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26	2,73
		5	5,0	1,7	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30	3,37
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33	2,32
		4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	4,25
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72

7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88	4,87
		5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39
		7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02	8,37
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80
		6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96
		8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17	6,78
		6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33
		7	10,0	3,3	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64
		8	10,0	3,3	13,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93
		9	10,0	3,3	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20

Но- мер угол- ка	b	z	R	r	F, см ²	Справочные значения величин для осей										I _{xx} , см ⁴	x ₀ , см	Масса l м, кг
						x - x'			x ₀ - x ₀		y ₀ - y ₀			I _{yy} , см ⁴	x ₀ , см			
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0} max, см ⁴	i _{x0} max, см	I _{y0} min, см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0} min, см					
10	100	6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68	10,06		
		7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79		
		8	12,0	4,0	15,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25		
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10		
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90		
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63		
		16	12,0	4,0	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06	23,30		
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89		
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50		
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,46		
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30		
		10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10		
		12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68		
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20		
		16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65		
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,76	19,41		
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82	21,45		
		12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50		
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,33	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67		
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02		
		12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	537,00	4,39	29,35		
		14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47	34,20		
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52		
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01		
		20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	47,41		
18	180	11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	30,47		
		12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	33,12		
	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37	36,97		
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42	39,92		
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46	42,80		
		16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54	48,65		
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,37	6,12	4860,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70	60,08		
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89	74,02		
		30	18,0	6,0	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07	87,56		
	220	14	21,0	7,0	60,38	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62	4,38	1655,00	5,91	47,40		
		16	21,0	7,0	68,58	3175,44	198,71	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	1869,00	6,02	53,83		
	250	16	24,0	8,0	78,40	4717,10	258,43	7,76	7492,10	9,78	1942,09	203,45	4,98	2775,00	6,75	61,55		
		18	24,0	8,0	87,72	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	223,39	4,96	3089,00	6,83	68,86		
		20	24,0	8,0	96,96	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	3395,00	6,91	76,11		
		22	24,0	8,0	106,12	6270,32	348,26	7,69	9961,30	9,69	2579,04	260,52	4,93	3691,00	7,00	83,31		
		25	24,0	8,0	119,71	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,64	2887,26	287,14	4,91	4119,00	7,11	93,97		
		28	24,0	8,0	133,12	7716,86	434,25	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,90	4527,00	7,23	104,50		
		30	24,0	8,0	141,96	8176,82	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	4788,00	7,31	111,44		
		35	24,0	8,0	163,71	9281,05	530,11	7,53	14682,73	9,47	3879,37	366,13	4,87	5401,68	7,53	128,51		

Уголок неравнобокий (ГОСТ 8510-86)

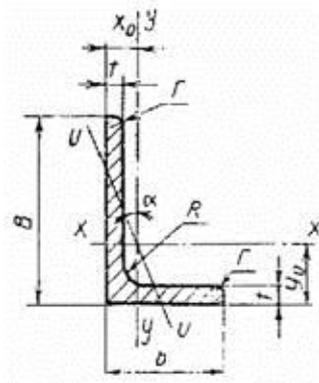


Таблица 1

Номер узла	мм			Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные величины для осей												Угол наклона осей, град	Угол наклона для Места 1 и узла, кг			
	В	δ	r		x - z			y - y			m - m			x ₀ , см	ρ ₀ , см	J _{кр} , см ⁴					
					J _x , см ⁴	W _x , см ³	j _x , см	J _y , см ⁴	W _y , см ³	j _y , см	J _{опт} , см ⁴	W _{опт} , см ³	j _{опт} , см						J _{опт} , см ⁴	W _{опт} , см ³	j _{опт} , см
2,5/1,6	25	16	3	1,16	0,70	0,43	0,78	0,22	0,19	0,44	0,13	0,16	0,34	0,42	0,86	0,22	0,392	0,91			
3/2*	30	20	4	1,43	1,27	0,62	0,94	0,45	0,30	0,56	0,26	0,25	0,43	0,51	1,0	0,43	0,427	1,12			
	40	25	4	1,86	1,61	0,82	0,93	0,56	0,39	0,55	0,34	0,32	0,43	0,54	1,04	0,54	0,421	1,46			
3,2/2	32	20	3	1,49	1,52	0,72	1,01	0,46	0,30	0,55	0,28	0,25	0,43	0,49	1,08	0,47	0,382	1,17			
	40	25	4	1,94	1,93	0,93	1,00	0,57	0,39	0,54	0,35	0,33	0,43	0,53	1,12	0,59	0,374	1,52			
4/2,5	40	25	4	1,89	3,06	1,14	1,27	0,93	0,49	0,70	0,36	0,41	0,54	0,59	1,32	0,96	0,385	1,48			
	50	32	4	2,47	3,93	1,49	1,26	1,18	0,63	0,69	0,71	0,52	0,54	0,63	1,37	1,22	0,281	1,94			
4/3*	40	30	4	3,03	4,73	1,82	1,25	1,41	0,77	0,68	0,86	0,64	0,53	0,66	1,41	1,44	0,374	2,37			
	50	32	4	2,67	4,18	1,54	1,25	2,01	0,91	0,87	1,09	0,75	0,64	0,78	1,28	1,68	0,544	2,26			
4,5/2,8	45	28	4	3,28	5,04	1,88	1,24	2,41	1,11	0,86	1,33	0,91	0,64	0,82	1,32	2,00	0,539	2,46			
	50	32	4	2,14	4,41	1,45	1,48	1,32	0,61	0,79	0,72	0,52	0,61	0,64	1,47	1,38	0,382	1,68			
5/3,2	50	32	4	2,80	5,68	1,90	1,42	1,69	0,80	0,78	1,02	0,67	0,60	0,68	1,51	1,77	0,379	2,20			
	56	36	5	2,42	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,70	0,72	1,60	2,01	0,403	1,9			
6,3/4,0	63	40	6	3,17	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	1,52	0,88	0,69	0,76	1,65	2,59	0,401	2,4			
	66	40	6	3,58	11,37	3,01	1,78	3,70	1,34	1,02	2,19	1,13	0,78	0,84	1,82	3,74	0,406	2,81			
6,5/5*	65	50	7	4,41	13,82	3,70	1,77	4,48	1,65	1,01	2,65	1,37	0,78	0,88	1,87	4,50	0,404	3,46			
	70	45	5	4,04	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,91	2,03	5,25	0,397	3,17			
7,5/5	75	50	7	4,98	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,95	2,08	6,41	0,396	3,91			
	80	60	8	5,90	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,99	2,12	7,44	0,393	4,63			
8/6*	80	60	8	7,68	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,58	2,60	0,85	1,07	2,20	9,27	0,386	6,03			
	85	65	8	5,56	23,41	5,20	2,05	12,08	3,23	1,47	6,41	2,68	1,07	1,26	2,00	9,77	0,576	4,36			
8/5	80	50	6	6,60	27,46	6,16	2,04	14,12	3,82	1,46	7,52	3,15	1,07	1,30	2,04	11,46	0,575	5,18			
	85	55	6	7,62	31,32	7,08	2,03	16,05	4,38	1,45	8,60	3,59	1,06	1,34	2,08	12,94	0,571	5,98			
8/6*	80	60	7	8,62	35,00	7,99	2,02	18,88	4,93	1,44	9,65	4,02	1,06	1,37	2,12	13,61	0,570	6,77			
	85	65	7	5,59	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	5,34	2,20	0,98	1,05	2,28	9,12	0,406	4,39			
8/5	80	50	5	6,11	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,17	2,39	12,00	0,436	4,79			
	85	55	5	7,25	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,21	2,48	14,10	0,435	5,69			
8/6*	80	60	7	8,37	46,77	9,31	2,36	16,61	4,43	1,41	9,69	3,69	1,08	1,25	2,48	16,18	0,435	6,57			
	85	65	7	9,47	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,40	10,87	4,14	1,07	1,29	2,52	17,80	0,430	7,43			
8/5	80	50	5	6,36	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1,00	1,13	2,60	13,20	0,387	4,49			
	85	55	5	7,55	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	8,88	3,24	1,08	1,17	2,65	15,50	0,386	5,92			
8/6*	80	60	6	8,15	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	13,61	4,66	1,29	1,49	2,47	20,98	0,547	6,39			
	85	65	6	9,42	59,61	10,87	2,52	28,74	6,43	1,75	15,58	5,34	1,29	1,53	2,52	24,01	0,546	7,39			
8/6*	80	60	7	10,67	66,88	12,38	2,50	32,15	7,26	1,74	17,49	5,99	1,28	1,57	2,56	26,83	0,544	8,37			

Продолжение табл. 1

Номер уголка	мм			Справочные величины для осей										$J_{\text{откл}} \text{ см}^4$	$J_{\text{откл}} \text{ см}^4$	$J_{\text{откл}} \text{ см}^4$	Угол наклона на осн. α в	Масса 1 м уголка, кг					
	B	b	t	R	r	x - x			y - y			z - z											
						$J_x \text{ см}^4$	$W_x \text{ см}^3$	$I_x \text{ см}$	$J_y \text{ см}^4$	$W_y \text{ см}^3$	$I_y \text{ см}$	$J_{\text{откл}} \text{ см}^4$	$W_{\text{откл}} \text{ см}^3$						$I_{\text{откл}} \text{ см}$				
9/5,6	90	56	6	9,0	3,0	7,86	11,18	90,87	11,66	15,24	2,88	19,67	27,08	1,36	11,77	16,29	1,21	1,22	20,54	28,33	1,36	0,384	6,17
10/6,3	100	63	7			9,58	11,09	98,29	14,52	19,11	3,20	30,58	34,99	1,79	18,20	20,83	1,38	1,38	31,50	36,10	1,42	0,393	7,53
10/6,5*	100	65	8	10,0	3,3	11,23	12,73	114,05	16,87	23,45	3,15	38,32	42,96	1,85	22,77	25,24	1,41	1,52	38,00	42,64	1,56	0,415	8,81
11/7	110	70	8			11,45	13,93	142,42	19,11	26,67	3,53	45,61	51,68	2,00	26,94	30,60	1,53	1,58	46,80	51,18	1,64	0,402	9,99
12,5/8	125	80	10	11,0	3,7	14,06	15,98	171,54	23,22	31,51	4,01	54,64	61,84	2,29	32,31	37,07	1,80	1,84	55,90	61,84	1,84	0,400	10,93
14/9	140	90	10	12,0	4,0	14,06	15,98	171,54	23,22	31,51	4,01	54,64	61,84	2,29	32,31	37,07	1,80	1,84	55,90	61,84	1,84	0,400	10,93
16/10	160	100	12	13,0	4,3	16,87	18,87	206,59	26,67	36,68	4,49	63,68	72,07	2,58	37,07	42,64	2,03	2,03	63,68	72,07	2,03	0,411	14,13
18/11	180	110	12			18,00	20,24	222,24	30,26	40,47	4,47	63,68	72,07	2,58	37,07	42,64	2,03	2,03	63,68	72,07	2,03	0,409	17,46
20/12,5	200	125	14	14,0	4,7	22,87	25,28	276,37	33,33	44,45	5,15	80,95	90,87	3,12	44,45	51,18	2,44	2,44	80,95	90,87	2,44	0,391	17,96
						25,28	28,33	306,08	36,68	48,81	5,11	90,87	102,00	3,54	48,81	56,10	2,79	2,79	90,87	102,00	2,79	0,390	19,85
						30,04	33,66	366,99	42,64	56,10	5,08	102,00	116,51	3,52	56,10	64,30	2,83	2,83	102,00	116,51	2,83	0,388	23,58
						34,72	38,81	426,08	48,81	64,30	5,08	116,51	132,41	3,52	64,30	74,37	2,91	2,91	116,51	132,41	2,91	0,385	27,26
						38,81	43,41	488,10	56,10	74,37	5,80	132,41	152,41	3,52	74,37	85,36	2,99	2,99	132,41	152,41	2,99	0,376	22,20
						42,64	47,77	535,56	64,30	85,36	5,77	152,41	174,37	3,52	85,36	98,01	2,40	2,40	152,41	174,37	2,40	0,374	26,40
						46,80	51,18	584,00	74,37	98,01	6,45	174,37	200,00	3,52	98,01	112,41	2,75	2,75	174,37	200,00	2,75	0,392	29,74
						51,18	55,52	633,00	85,36	112,41	6,41	200,00	229,74	3,52	112,41	129,74	2,73	2,73	200,00	229,74	2,73	0,390	34,43
						55,52	59,99	682,00	98,01	129,74	6,38	229,74	262,00	3,52	129,74	149,74	2,72	2,72	229,74	262,00	2,72	0,388	39,07

Примечания:

1. Площадь поперечного сечения и справочные величины выделены по номинальным размерам. При вычислении массы 1 м уголка плотность стали принята равной $7,85 \text{ г/см}^3$.
2. Радиусы закругления, форма и размеры участка сопряжения внутренних граней полок, указанные на чертеже и в табл. 1, даны для построения калибра и на уголке не проверяют.
3. Уголки, отмеченные звездочкой, изготовляют по требованию потребителя.