

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра строительных технологий и конструкций

Д. В. ДОВЫДЕНКО

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области строительства и архитектуры
в качестве учебно-методического пособия
для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура»*

Гомель 2020

УДК 692.48(075.8)
ББК 38.5
Д58

Рецензент – заведующий кафедрой архитектуры и строительства доктор архитектуры, профессор *И. Г. Малков* (БелГУТ).

Довыденко, Д. В.

Д58 Проектирование металлической стропильной фермы : учеб.-метод. пособие / Д. В. Довыденко ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 59 с.
ISBN 978-985-554-900-1

Изложены основы графического метода определения усилий в стропильных фермах. Разобраны вопросы подбора сечений стержней фермы, а также конструирования ее промежуточных узлов. Представлены справочные материалы, позволяющие выполнить расчетно-графические работы. Разобраны примеры всех этапов проектирования в рамках задания на проектирование.

Предназначено для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура».

УДК 692.48(075.8)
ББК 38.5

ISBN 978-985-554-900-1

© Довыденко Д. В., 2020
© Оформление. БелГУТ, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Расчет усилий в элементах фермы графическим методом. Диаграмма Максвелла – Кремоны.....	5
2 Подбор сечений стержней фермы.....	11
3 Конструирование ферм из парных уголков.....	17
4 Пример построения диаграммы Максвелла – Кремоны для треугольной фермы.....	22
5 Пример расчета узлов фермы с параллельными поясами	24
Приложение А. Схемы ферм по заданию.....	34
Приложение Б. Справочные данные для выполнения РГР.....	37
Приложение В. Пример выполнения РГР № 1.....	49
Приложение Г. Пример выполнения РГР № 2.....	54
Список литературы.....	59

ВВЕДЕНИЕ

Здания из металлоконструкций относятся к быстровозводимым сооружениям.

Основные преимущества ферменных покрытий: отсутствие распора от вертикальных нагрузок (чем достигаются наименьшие размеры колонн и фундаментов); простота статической схемы (упрощающей проектирование, изготовление и монтаж основных несущих элементов); нечувствительность при разрезных схемах к осадкам опор. Применение металлических ферм в промышленных зданиях позволяет организовать межферменное пространство и воспринимать нагрузки от подвешенного транспорта.

Легкие металлические фермы выполняются с сечениями простой формы и состояются, как правило, из двух или одного прокатного профиля. Фермы из парных уголков имеют большой диапазон площадей и удобны для проектирования узлов на фасонках и крепления примыкающих конструкций, не коробятся при сварке и требуют минимальных сварочных работ.

Фермы из металлических уголков имеют ограничения по использованию в агрессивных условиях из-за наличия щелей между уголками.

В настоящее время проектирование ферм из парных уголков на практике почти не выполняется.

Однако они повсеместно применялись ранее во многих областях строительства: в покрытиях и перекрытиях промышленных и гражданских зданий, мостах, опорах линий электропередачи, транспортных галереях, объектах связи и т. д. Для перекрытия пролетов свыше 24 м в промышленности применяют исключительно металлоконструкции.

Поэтому при эксплуатации или при реконструкции зданий возникает необходимость в перерасчете узлов и их усилении.

В пособии представлены справочные материалы, позволяющие выполнить расчетно-графическую работу. Разобраны примеры всех этапов проектирования в рамках задания на проектирование.

Цель пособия – ознакомить студентов специальности «Архитектура» с основами графического метода определения усилий в стропильных фермах. Разобрать вопросы подбора сечений стержней фермы, а также проектирования ее промежуточных узлов.

1 РАСЧЕТ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЕРМЫ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. ДИАГРАММА МАКСВЕЛЛА – КРЕМОНЫ

Построение диаграммы Максвелла – Кремоны заключается в последовательном отображении силовых многоугольников для каждого узла фермы.

Порядок построения диаграммы Максвелла – Кремоны:

- 1) определяют нагрузки, действующие в узлах фермы;
- 2) определяют опорные реакции;
- 3) выполняют построение фермы в осевых линиях, соблюдая масштаб;
- 4) наносят усилия, действующие на ферму. Нагрузки и реакции принимают относительно условной единицы (1), за которую принимается рядовая узловая нагрузка, действующая на верхний пояс фермы. На приведенном ниже рисунке нагрузка на крайние узлы принята с округлением (рисунок 1.1);

5) выполняют поименование областей, образующихся между силовыми воздействиями и стержнями фермы, может содержать любые символы. На рисунке 1.1 выполнен обход по часовой стрелке;

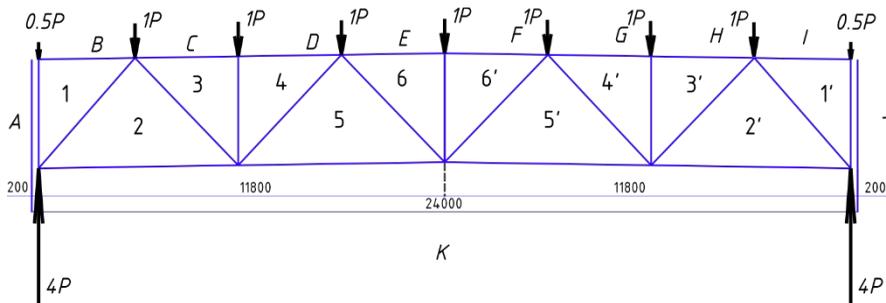


Рисунок 1.1 – Схематичное изображение фермы, в масштабе, с нанесенными нагрузками и реакциями, а также с поименованными областями

б) выполняется обход наружного контура областей, с построением силовых линий и пометкой областей в масштабе относительно принятой условной единицы.

При этом:

- обход начинаем из области «А» слева от фермы, между реакцией на левой опоре и нагрузкой на левом верхнем монтажном узле фермы;
- области на диаграмме задаются точками;
- переход от области (точки) к области (точке) осуществляется по направлению и на величину указанного силового воздействия. Так, для перехода от области «А» к области «В» необходимо отложить отрезок, равный половине «единицы» в направлении «вниз», что соответствует указанной на схеме величине «0,5P» и направлению

сверху вниз усилия на левом верхнем монтажном узле фермы. Для перехода из области «В» к области «С» необходимо в направлении «вниз» отложить отрезок, равный «единице», что соответствует величине «1Р», указанной между областями «В–С». В данном примере направление сверху-вниз соблюдается для всех нагрузок, действующих на узлы верхнего пояса фермы;

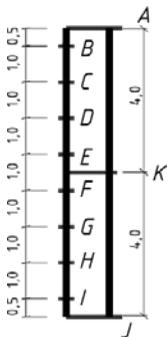


Рисунок 1.2 – Результат выполнения построения обхода наружных областей

– дойдя до области (точки) «J», мы начинаем «подъем» по диаграмме, так как силовые воздействия, в виде реакций опор, имеют направление снизу-вверх;

– в итоге полный обход заканчивается в точке начала построения силовых линий, что является проверкой правильности определения реакций в опорах. Результат выполнения построения обхода наружных областей приведен на рисунке 1.2;

7) выполняется последовательный обход каждого из узлов (до оси симметрии в случае симметричной конструкции и симметричного ее нагружения).

При этом:

– выбираются узлы, в которых «не открытой» является только одна область (то есть узлы не более чем с двумя стержнями с неизвестными усилиями);

– обход в узле выполняется из известной области в неизвестную, как по часовой стрелке, так и против («известной» областью является ранее построенная, то есть ее точка на диаграмме);

– при обходе выполняется построение линий, располагающихся на границе областей, причем они располагаются параллельно соответствующим линиям на исходной схеме;

– точка пересечения двух линий, находящихся на границе неоткрытой области, и будет являться точкой искомой области.

Далее рассмотрим детальное построение диаграммы для каждого из узлов схемы (до оси симметрии).

Открытие области «1» (рисунок 1.3)

Обход начинаем из известной области «А»:

– по часовой стрелке переходим в область «В» (смещаемся по диаграмме вниз на величину «0,5»). После переходим из области «В» в область «1», что выражается в построении прямой линии параллельной линии, располагающейся на их границе (на рисунке 1.3 обозначена как «В–В»);

– против часовой стрелки сразу переходим из области «А» в область «1», что выражается в построении вертикальной линии на рисунке обозначенной «А–А».

Область (точка) «1» будет находиться на пересечении линий «А–А» и «В–В». В данном случае она совпадает с положением точки «В».

Область (точка) «1» считается открытой.



Рисунок 1.3 – Открытие области «1»

Открытие области «2» (рисунок 1.4)

Обход начинаем из известной области «А»:

– по часовой стрелке переходим в область «1» (смещаемся по диаграмме к точке «1»). После переходим из области «1» в область «2», что выражается в построении прямой линии параллельной линии, располагающейся на их границе (на рисунке обозначена как «1–1»);

– против часовой стрелки переходим в область «К» (смещаемся по диаграмме к точке «К»). После переходим из области «К» в область «2», что выражается в построении прямой линии параллельной линии, располагающейся на их границе (на рисунке обозначена как «К–К»).

Область (точка) «2» будет находиться на пересечении линий «1–1» и «К–К».

Область (точка) «2» считается открытой.

В дальнейшем открывать неизвестные области будем сразу из соседних известных областей (точек).

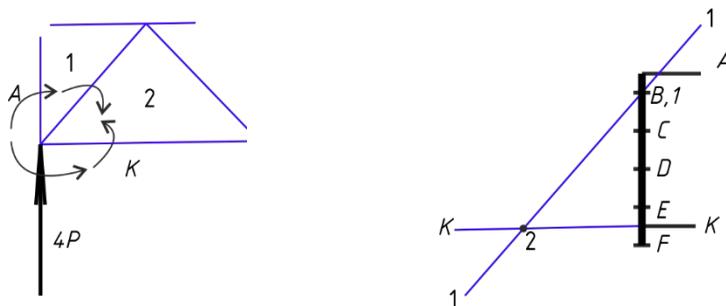


Рисунок 1.4 – Открытие области «2»

Открытие области «3» (рисунок 1.5)

Из области «С» в область «3» строим линию «С–С».

Из области «2» в область «3» строим линию «2–2».

Область (точка) «3» будет находиться на пересечении линий «С–С» и «2–2».

Область (точка) «3» считается открытой.

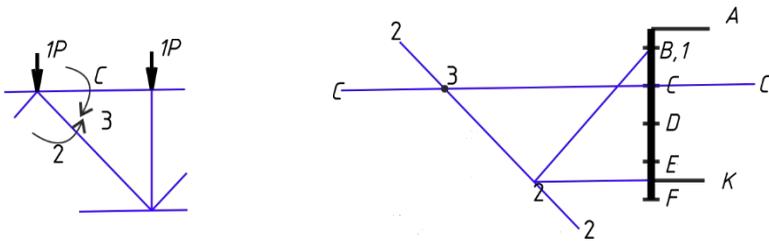


Рисунок 1.5 – Открытие области «3»

Открытие области «4» (рисунок 1.6)

Из области «D» в область «4» строим линию «D–D».

Из области «3» в область «4» строим линию «3–3».

Область (точка) «4» будет находиться на пересечении линий «D–D» и «3–3».

Область (точка) «4» считается открытой.

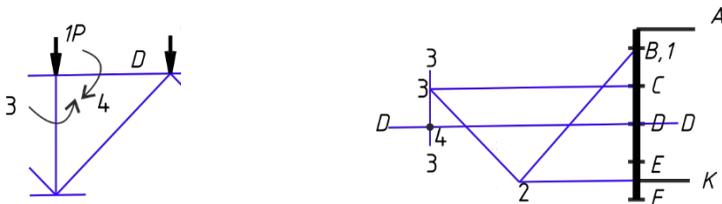


Рисунок 1.6 – Открытие области «4»

Открытие области «5» (рисунок 1.7)

Из области «4» в область «5» строим линию «4–4».

Из области «K» в область «5» строим линию «K–K».

Область (точка) «5» будет находиться на пересечении линий «4–4» и «K–K».

Область (точка) «5» считается открытой.

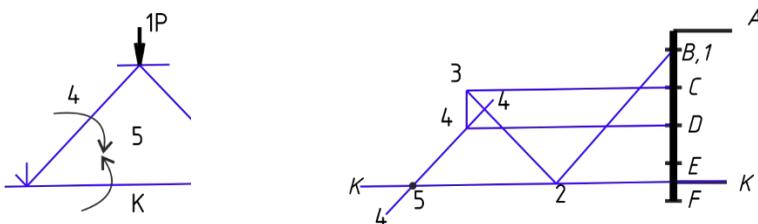


Рисунок 1.7 – Открытие области «5»

Открытие области «6» (рисунок 1.8)

Из области «E» в область «6» строим линию «E–E».

Из области «5» в область «6» строим линию «5–5».

Область (точка) «6» будет находиться на пересечении линий «E–E» и «5–5».

Область (точка) «6» считается открытой.

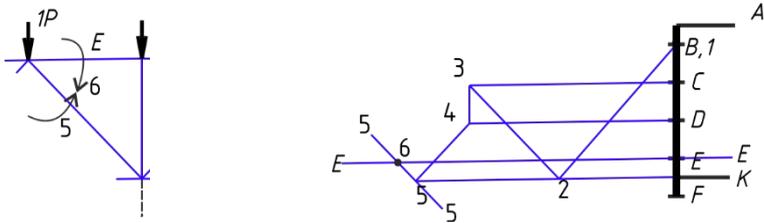


Рисунок 1.8 – Открытие области «б»

Открытие области «б'» (рисунок 1.9)

Из области «F» в область «б'» строим линию «F–F'».

Из области «б» в область «б'» строим линию «б–б'».

Область (точка) «б'» будет находиться на пересечении линий «F–F'» и «б–б'».

Область (точка) «б'» считается открытой.

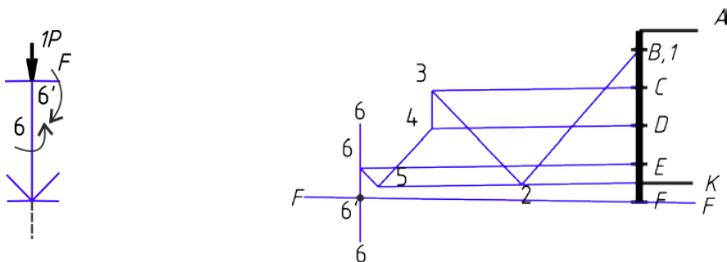


Рисунок 1.9 – Открытие области «б'»

Результатом является построенная диаграмма половины фермы (целой при отсутствии симметрии), рисунок 1.10.

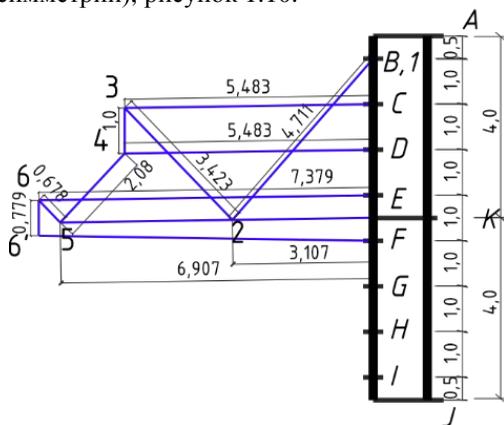


Рисунок 1.10 – Результат построения диаграммы

Размеры линий на диаграмме являются значениями усилий в стержнях фермы от действия нагрузок, выраженных относительно единичного рядового усилия.

Для определения фактической величины усилия в стержне фермы, достаточно помножить значение единичной нагрузки « P » на величину «снятого» размера стержня с диаграммы.

Так, например, для определения величины фактического усилия в стержне «1–2» необходимо помножить значение нагрузки « P » на «4,711»; для стержня «2–3» на 3,423 и так далее.

Для определения знака усилий в стержнях рассматриваем каждый узел и называем усилие по номерам областей в порядке обхода узла *по часовой стрелке*. Если при рассмотрении узла усилие на диаграмме Максвелла – Крэмона направлено к рассматриваемому узлу на схеме фермы, то будет сжатие (знак минус), если же наоборот – растяжение (знак плюс).

Например, усилие в стержне «1–2» на диаграмме выражается отрезком «1–2». Таким образом, данной нумерации усилия на диаграмме соответствует направление от точки «1» к точке «2», сопоставляя его со схемой фермы, и рассматривая положительный обход по часовой стрелке, получаем, что усилие направлено к левому опорному узлу фермы, т. е. стержень «1–2» сжат.

Рассмотрим стержень «2–3» (такое наименование получено при обходе по часовой стрелке нижнего промежуточного узла фермы). Если наложить направление «2–3» с диаграммы на данный узел, получим исходящее направление усилия, и соответственно положительную величину усилия в стержне, то есть растяжение.

Полученные результаты заносят в таблицу 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 – Результаты расчета усилий в стержнях фермы

Элемент	Номер стержня	Усилие от единичной нагрузки	Знак усилия	Усилие N , кН (при $P = 100$ кН)	
				сжатие (–)	растяжение (+)
Верхний пояс	$B-1$	0	(–)	0	
	$C-3$	5,483	(–)	548,3	
	$D-4$	5,483	(–)	548,3	
	$E-6$	7,379	(–)	737,9	
Нижний пояс	$2-K$	3,107	(+)		310,7
	$5-K$	6,907	(+)		690,7
Раскосы	1–2	4,711	(–)	471,1	
	4–5	2,08	(–)	208	
	2–3	3,423	(+)		342,3
	5–6	0,678	(+)		67,8
Стойки	3–4	1,0	(–)	100	
	6–6'	0,779	(–)	77,9	

ВНИМАНИЕ! Приведенный здесь пример фермы имеет отличия от указанных схем в задании. Данные из приведенной таблицы не могут быть использованы в расчетно-графической работе.

2 ПОДБОР СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ ФЕРМЫ

В целях унификации количество типоразмеров профилей должно быть ограничено: в фермах пролетом 24 и 30 м – 4–5, в фермах больших пролетов – 5–6, пояса ферм 24 м и меньше выполняют постоянного сечения.

Унификация стержней фермы проводится с целью:

– уменьшения количества типоразмеров элементов фермы, чтобы уменьшить вероятность ошибки при изготовлении конструкции, так и уменьшить зависимость простоя при поставках материалов;

– уменьшения узлов соединений по длине элементов пояса, так как выполнение соединения занимает время, требует материалов для накладок и сварочных работ, что не уменьшает итоговую стоимость фермы.

На рисунке 2.1 приведены схематичные изображения ферм с указанием порядка унификации для рассматриваемых в данном пособии вариантов стальных ферм.

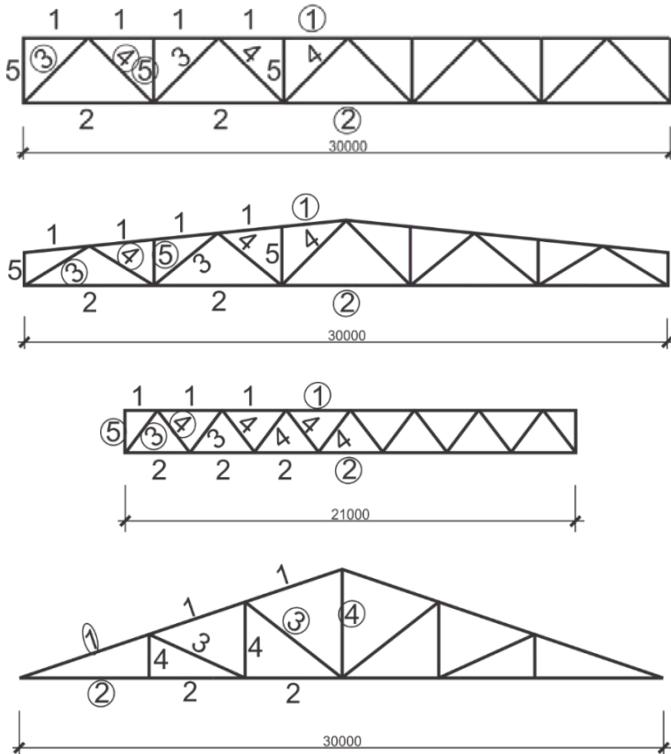


Рисунок 2.1 – Схематичные изображения ферм с указанием порядка унификации, где цифрами указаны группы унифицированных элементов, а обведенные цифры обозначают элементы, по которым принимаются размеры сечения в группе

В соответствии с рассмотренными принципами унификации, достаточно выполнять расчет только для обозначенных элементов.

Однако это справедливо только для статически нагруженных ферм с изменяемыми нагрузками, то есть без действия переменных нагрузок.

Расчет растянутых элементов фермы

Растянутые элементы определяются по знаку усилия, из таблицы результатов расчета усилий в стержнях фермы, как со знаком плюс.

Расчет производится по нормальным напряжениям.

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \gamma_c. \quad (2.1)$$

Также для элементов нижнего пояса необходимо выполнять проверку по предельно допустимой гибкости, которая в соответствии со СНиП «Стальные конструкции» [1] не должна превышать четырехсот единиц. Проверка выполняется с учетом раскрепления нижнего пояса из плоскости фермы. То есть $\lambda \leq [\lambda] = 400$.

В данной работе принимаем раскрепление из плоскости фермы в каждом из узлов. Соответственно проверку по гибкости нижнего пояса производить не будем.

Порядок подбора сечения растянутого элемента заключается в определении требуемой площади сечения элемента

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c} \quad (2.2)$$

с последующим принятием решения о применении необходимого размера профиля, принятого по сортаменту, где площадь принятого профиля (или их сочетания) будет превышать требуемую площадь сечения. То есть $A \geq A_{\text{тр}}$.

При расчете сечений из парных уголков необходимо учитывать, что в сортаментах приведены значения площадей для одиночных уголков.

Расчет сжатых элементов фермы

Расчет производится на устойчивость по нормальным напряжениям.

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c. \quad (2.3)$$

Предельное значение предельной гибкости для ответственных сжатых элементов, таких как колонны, элемент пояса фермы и опорный раскос фермы, традиционно принимается равным ста двадцати. То есть $\lambda \leq [\lambda] = 120$.

Это означает, что если в процессе подбора сечения элемента фактическое расчетное значение гибкости принятого профиля (или их сочетания) будет превышать предельно допустимую величину $[\lambda]$, то необходимо увеличивать геометрические параметры сечения, дабы уменьшить расчетную гибкость сечения.

Порядок расчета сжатого элемента:

1 Определяется требуемая площадь сечения элемента

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c}. \quad (2.4)$$

В первом приближении значение коэффициента продольного изгиба φ можно принимать в диапазоне от 0,6 до 0,8. То есть $\varphi = 0,6 \dots 0,8$.

2 По требуемой площади сечения, в соответствии с сортаментом, принимают к дальнейшему расчету профиль сечения элемента.

Для принятого профиля выписывают необходимые для расчета геометрические характеристики, такие как:

- площадь – A (с учетом двух элементов для парных уголков);
- радиус инерции – i , при этом учитываются два направления работы элемента относительно осей поперечного сечения элемента x и y , соответственно i_x и i_y . Здесь и далее понятие «относительно оси» определяет направление, как перпендикулярное указанной оси.

В случае отсутствия значений радиусов инерции в сортаменте, их величину можно вычислить по следующим формулам:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}, \quad (2.5)$$

где I_x, I_y – моменты инерции сечения, вычисленные соответственно относительно осей поперечного сечения элемента x и y .

Для парных уголков необходимо учитывать наличие зазора относительно оси y сечения. Данный зазор образуется за счет установки фасонки. Размер зазора равен толщине фасонки.

Толщина фасонки принимается в соответствии с таблицей 2.1 по величине усилия в опорном раскосе фермы. То есть в сжатом раскосе с наибольшей величиной усилия. Для ферм, приведенных на рисунке 2.1, это элемент, обозначенный обведенной цифрой три.

Таблица 2.1 – Толщины фасонки ферм

N , кН	150	151–250	251–400	401–600	601–1000	1001–1400	1404–1800	1801–2000
t , мм	6	8	10	12	14	16	18	20

3 Определяются фактические величины гибкости элементов:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x}; \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y}, \quad (2.6)$$

где $l_{ef,x}$ и $l_{ef,y}$ – расчетные длины элементов относительно указанных осей сечения. Направление относительно оси x принимается, как расположенное в плоскости фермы, а направление относительно y – из плоскости фермы, то есть в горизонтальном направлении.

Расчетные длины определяются в соответствии с условиями раскрепления элементов, а также по формулам:

$$l_{ef,x} = \mu_x l_{0x}; \quad l_{ef,y} = \mu_y l_{0y}, \quad (2.7)$$

где μ_x и μ_y – коэффициенты формы потери устойчивости, зависящие от условий закрепления концов стержней в указанных направлениях;

l_{0x} и l_{0y} – геометрическая длина, принятая как расстояние между узлами раскрепления стержня на принятой схеме фермы соответственно в плоскости фермы и из плоскости фермы.

В таблице 2.2 приведены коэффициенты μ с учетом теории работы узлов ферм с разными формами сечения элементов, а также геометрические длины элементов l_0 .

Т а б л и ц а 2.2 – Коэффициенты формы потери устойчивости и геометрические длины элементов ферм

Элементы ферм	В плоскости фермы				Из плоскости фермы			
	из уголков		из труб		из уголков		из труб	
	μ_x	l_{0x}	μ_x	l_{0x}	μ_y	l_{0y}	μ_y	l_{0y}
Сжатые пояса	1,0	l_0	1,0	l_0	1,0	l_1	1,0	l_1
Сжатые опорные раскосы	1,0	l_0	1,0	l_0	1,0	l_0	1,0	l_0
Сжатые раскосы и стойки	<u>0,8</u>	l_0	<u>0,9</u>	l_0	1,0	l_0	<u>0,9</u>	l_0
Растянутые пояса	1,0	l_0	1,0	l_0	1,0	l_1	1,0	l_1
Растянутые раскосы и стойки	1,0	l_0	1,0	l_0	1,0	l_0	1,0	l_0

Примечание – l_0 – геометрическая длина стержня; l_1 – расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы (связями, прогонами, плитами покрытий, приваренными к поясам ферм).

ВНИМАНИЕ! В данной работе принято раскрепление из плоскости фермы, как раскрепление в каждом из узлов фермы, то есть $l_1 = l_0$.

После определения λ_x и λ_y , к дальнейшему расчету принимается наибольшее из значений. То есть $\lambda_{\max} = \max(\lambda_x; \lambda_y)$.

4 По таблицам, приведенным в справочных материалах или приложениях к СНиП «Стальные конструкции» [1], определяем фактическое значение коэффициента продольного изгиба φ_{\min} , исходя из значения предела текучести стали R_y и максимальной гибкости λ_{\max} .

5 Выполняем проверку принятого сечения по формуле (2.3).

В случае если напряжение внутри сечения элемента (σ) превышает предельно допустимое значение напряжения ($R_y \gamma_c$), то есть $\sigma > R_y \gamma_c$, необходимо увеличивать геометрические параметры сечения. После чего вернуться к пункту 2 данного алгоритма расчета.

Если условие выполняется, необходимо проверить величину запаса прочности, он не должен превышать (для сжатых элементов 20 %). То есть $\frac{R_y \gamma_c - \sigma}{R_y \gamma_c} \cdot 100 \% \leq 20 \%$. В противном случае, необходимо выполнить про-

верку сечения с меньшими геометрическими параметрами, чтобы исключить необоснованный перерасход материалов.

Выполненный расчет стержней, обведенных на рисунке 2.1, сводят в таблицу 2.3. После таблицы текстом выписывают окончательно принятые решения для данной стадии расчета.

При подборе и назначении толщины стенки уголка необходимо учитывать требования к сварным соединениям, а именно:

- минимальный катет шва равен 4 мм;
- максимальный катет шва, который можно выполнить при приваре по перу уголка, для уголков с толщиной стенки до 6 мм будет составлять $k_f = t - 1$ мм.

Соответственно *минимальная толщина уголка* из условия его привара по перу *составляет 5 мм* ($t_{\min} = k_{f,\min} + 1 \text{ мм} = 4 + 1 = 5 \text{ мм}$).

В таблице 2.3 в строке 4 «Принятый состав» указан окончательно принятый профиль сечения. Запись «2L 125/12» означает: «Два уголка, размер полки в мм/толщина полки в мм». Так как в наименовании использована запись «2L b/t», то здесь указан уголок равнополочный, а для неравнополочных используют запись «2L h/b/t».

В таблице 2.3 в строке (9) « i_y » используются данные из сортамента для « i_y » с учетом величины зазора на толщину фасонки.

На рисунке 2.2 обведены рассчитываемые элементы.

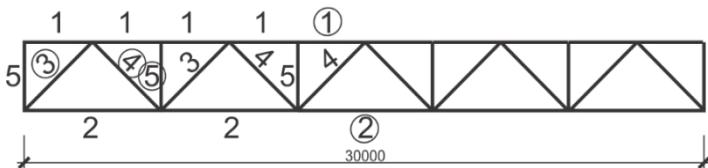


Рисунок 2.2 – Схема маркировки унифицированных типоразмеров фермы

Таблица 2.3 – Расчет сечений стержней фермы (для стали С235)

№ п/п	Элементы ригеля	Верхний пояс	Нижний пояс	Раскосы		Стойки	
				1–2	2–3		
1	№ стержней	<i>E–6</i>	<i>5–K</i>	1–2	2–3	3–4	
2	Расчётные усилия <i>N</i> , кН	–737,9	690,7	–471,1	342,3	–100	
3	Требуемая площадь <i>A_{тp}</i> , см ²	48,245	31,611	35,934	18,603	8,361	
4	Принятый состав сечения	2L 125/10	2L 110/8	2L 125/10	2L 80/6	2L 80/6	
5	Фактическая площадь <i>A</i> , см ²	48,66	34,4	48,66	18,76	18,76	
6	Расчетная длина, м	<i>l_{ef,x}</i>	1,0· <i>l₀</i> = 3,0	1,0· <i>l₀</i> = 6,0	1,0· <i>l₀</i> = 4,23	1,0· <i>l₀</i> = 4,3	0,8· <i>l₀</i> = 2,52
7		<i>l_{ef,y}</i>	1,0· <i>l₀</i> = 3,0	1,0· <i>l₀</i> = 6,0	1,0· <i>l₀</i> = 4,23	1,0· <i>l₀</i> = 4,3	1,0· <i>l₀</i> = 3,15
8	Радиус инерции, м	<i>i_x</i>	0,0385	0,0339	0,0385	0,0247	0,0247
9		<i>i_y</i>	0,0558	0,0495	0,0558	0,0372	0,0372
10	Гибкость	<i>λ_x</i>	77,922	176,991	109,87	174,089	102,024
11		<i>λ_y</i>	53,763	121,212	75,806	115,591	84,677
12	[<i>λ</i>]	120	400	120	400	150	
13	<i>φ_{min}</i>	0,710	–	0,497	–	0,055	
14	$\sigma = \frac{+N}{A}, \sigma = \frac{-N}{\varphi_{\min} A}$	213,583	200,785	194,798	182,5	96,918	
15	<i>γ_c</i>	0,95	0,95	0,95	0,8	0,8	
16	<i>R_yγ_c</i>	218,5	218,5	218,5	184	184	
<p>Примечание – В результате расчета к изготовлению принимаются элементы согласно маркировке унифицированных типоразмеров: «1» – 2L 125/10; «2» – 2L 110/8; «3» – 2L 125/10; «4» – 2L 80/6; «5» – 2L 80/6.</p>							

3 КОНСТРУИРОВАНИЕ ФЕРМ ИЗ ПАРНЫХ УГОЛКОВ

Конструирование фермы и ее узлов следует начинать с вычерчивания осевых линий элементов, сходящихся в узлах.

На осевые линии накладываются принятые профили сечений стержней, в соответствии с их привязкой центров тяжести сечений. Для уголков привязки осей необходимо округлить до 5 мм.

При наличии расцентровки стержней в узлах учитывают дополнительный узловый момент.

Если сечение пояса по длине фермы меняется, в геометрической схеме допускается выполнять центрирование элементов пояса по средней осевой линии. Для удобства опирания конструкций покрытия, таких как прогоны, плиты покрытия, настилы, верхнюю грань пояса сохраняют на одном уровне. Если при этом взаимное смещение осей центров тяжести превышает $0,015h$ (где h – меньшая высота сечения пояса), при расчете необходимо учитывать наличие дополнительного момента.

Резка стержней решетки осуществляется под прямым углом, для крупных стержней можно допустить косую резку для уменьшения размеров фасонки.

Два уголка для обеспечения их совместной работы соединяют по длине прокладками. Расстояние между прокладками должно быть: не более $40i$ – для сжатых элементов и не более $80i$ – для растянутых (где i – радиус инерции одного уголка относительно оси, параллельной прокладке, y). При этом в сжатых элементах ставится не менее двух прокладок. Из условия размещения сварных швов ширина прокладок принимается равной $b_{пр} = 60 \dots 100$ мм, длина $l_{пр} = b_{уг} + (20 \dots 30 \text{ мм})$, толщина прокладки равна толщине фасонки. По возможности число типоразмеров прокладок следует принимать минимальным.

В фермах из парных уголков стержни в узлах объединяются посредством фасонки, расположенных между уголками. Уголки к фасонкам крепятся при помощи сварки.

При расчете узлов сварных ферм из парных уголков определяются размеры и катеты сварных швов и назначаются габариты фасонки. Заводские сварные соединения элементов ферм рекомендуется выполнять полуавтоматической сваркой, на монтаже допускается применение ручной сварки. Материалы для сварки принимаются по СНиП «Стальные конструкции» [1, таблица 55*] (таблица Б.5).

В расчетно-графической работе необходимо рассчитать два узла для опорного элемента фермы (рисунок 3.1). Расчет узлов выполняют с вычерчиванием этих узлов в пояснительной записке.

Характерные решения конструкции узлов стропильных ферм из парных уголков приведены на рисунке 3.2.

В сварных фермах стержни решетки прикрепляют к фасонкам фланговыми швами (продольными) (см. рисунок 3.2), концы швов для снижения концентрации напряжений выводят на торцы стержней на 20 мм, на чертеже обозначаются двумя штрихами.

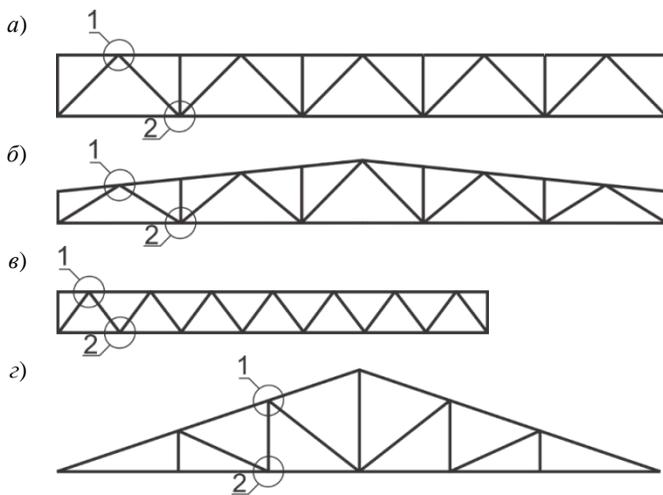


Рисунок 3.1 – Схемы ферм с рассчитываемыми узлами

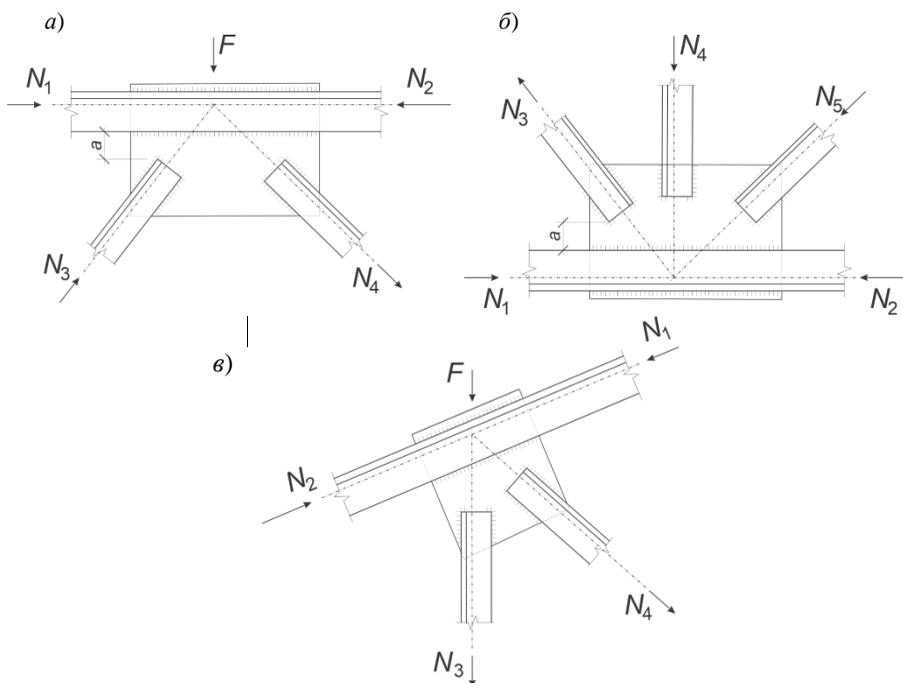


Рисунок 3.2 – Характерные решения конструкции узлов

Действующее в элементе усилие распределяется между швами по обушке и перу уголка обратно пропорционально их расстояниям до оси стержня:

$$N_o = N(1\alpha) \quad ; \quad N_{\Pi} = N\alpha,$$

где $\alpha = \frac{z}{b}$; z – расстояние от центра тяжести уголка до его обушка;

b – ширина полки уголка.

Для равнополочных уголков можно принять $\alpha = 0,3$, следовательно $(1 - \alpha) = 0,7$; для неравнополочных, прикрепляемых меньшей полкой, $\alpha = 0,25$, $(1 - \alpha) = 0,75$ и $\alpha = 0,35$, $(1 - \alpha) = 0,65$ – для прикрепляемых большей полкой.

Перед началом расчета определяют, по какому материалу будет вестись расчет, по материалу шва (в индексе используется символ « f ») или по материалу границы сплавления (в индексе используется символ « z »). Для этого сравнивают произведение коэффициента проплавления с расчетным сопротивлением: $\min(\beta_f R_{wf}; \beta_z R_{wz})$, и для дальнейшего расчета принимают материал с наименьшим значением произведения.

Длины сварных швов, прикрепляющих уголки к фасонкам, определяют по формулам (расчет по металлу шва):

$$\text{– по обушке } l_{w,o} = \frac{N_o}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}} + 10 \text{ мм};$$

$$\text{– по перу } l_{w,\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}} + 10 \text{ мм},$$

где n – количество швов (уголков);

β_f – коэффициент проплавления (по металлу шва) СНИП «Стальные конструкции» [1, таблица 34*] (таблица Б.9);

k_f – катет сварного шва;

R_{wf} – расчетное сопротивление углового шва (по металлу шва), в зависимости от выбранного ранее электрода, СНИП «Стальные конструкции» [1, таблица 56] (таблица Б.7);

γ_{wf} – коэффициент условий работы сварного шва (для металла шва) СНИП «Стальные конструкции» [1, п. 11.2] (для принятых в задании на расчетно-графические работы сталей $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 1$);

10 мм – дается на непровар шва.

Длины сварных швов, прикрепляющих уголки к фасонкам, определяют по формулам (расчет по металлу границы сплавления):

$$\text{– по обушке } l_{w,o} = \frac{N_o}{n\beta_z k_f R_{wz} \gamma_c \gamma_{wz}} + 10 \text{ мм};$$

$$\text{– по перу } l_{w,\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{n\beta_z k_f R_{wz} \gamma_c \gamma_{wz}} + 10 \text{ мм}.$$

Минимальное значение катета шва $k_{f, \min}$ принимается по СНиП «Стальные конструкции» [1, таблица 38*] (таблица Б.10), максимальное значение катета шва по обуху уголка $k_f = 1,2t$, где t – наименьшая из толщин полки уголка или фасонки; по перу уголка $k_{f, \max}$ назначают не больше толщины фасонки и в соответствии со следующими требованиями:

$$\begin{aligned} k_{f, \max} &= t - 1 \text{ мм при } t \leq 6 \text{ мм;} \\ k_{f, \max} &= t - 2 \text{ мм при } 7 \leq t \leq 16 \text{ мм;} \\ k_{f, \max} &= t - 4 \text{ мм при } t > 16 \text{ мм,} \end{aligned}$$

где t – толщина полки уголка.

Число различных по толщине швов на всю ферму не должно превышать 3–4. В одном узле желательно иметь не более двух типоразмеров швов.

Полученные расчетом длины сварных швов округляют в большую сторону до 10 мм. Минимальную длину сварного шва $l_{w, \min}$ следует принимать равной 40 мм, максимальную – $l_{w, \max} = 85\beta_f k_f$.

Результаты расчета сварных соединений элементов решетки фермы, сводим в итоговую таблицу 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 – Результаты расчета сварных соединений элементов решетки фермы

Узел	Стержень	Сечение	Усилие N , кН	По обуху			По перу		
				N_o , кН	k_f , мм	l_w , мм	N_p , кН	k_f , мм	l_w , мм

Швы, прикрепляющие фасонку к поясу, при отсутствии узловых нагрузок рассчитывают на разность усилий в смежных панелях пояса (см. рисунок 3.2, б): $N = N_2 - N_1$.

Требуемую площадь шва и величину катета шва, в этом случае определяют по формулам:

$$A_{wf} = 4\beta_f k_f l_w = \frac{N_2 - N_1}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}; \quad k_f = \frac{N_2 - N_1}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 4l_w \beta_f},$$

где 4 – означает четыре шва (с обеих сторон от фасонки).

Если к узлу приложена сосредоточенная нагрузка F (см. рисунок 3.2, а, в), то швы, прикрепляющие фасонку к поясу, рассчитывают на совместное действие продольного усилия (разницы усилий в поясах) и сосредоточенной нагрузки, то есть на воздействие результирующей, от суммы сложения векторов воздействий. Требуемую площадь шва и величину катета шва, в этом случае определяют по формулам:

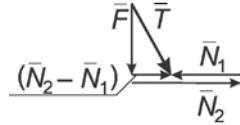
$$A_{wf} = 4\beta_f k_f l_w = \frac{T}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c}; \quad k_f = \frac{T}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 4l_w \beta_f},$$

где T – результирующая от суммы сложения векторов воздействий.

В зависимости от наклона верхнего пояса и положения большего из усилий формула определения значения T разная.

Так, для ферм с горизонтально расположенным верхним поясом (см. рисунок 3.1, а, в) вычисление производится по теореме Пифагора для прямоугольного треугольника: $T = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + F^2}$. Схема сложения векторов изображена на рисунке 3.3.

Рисунок 3.3 – Схема сложения векторов воздействий на шов крепления верхнего пояса фермы к фасонке с горизонтально расположенным верхним поясом



Для ферм, имеющих наклон верхнего пояса (см. рисунок 3.1, б), где при этом большее из усилий в поясе расположено справа от узла, величина результирующей определяется по теореме косинусов через две стороны и угол между ними: $T = \sqrt{F^2 + (N_2 - N_1)^2 - 2F(N_2 - N_1)\cos(90^\circ + \alpha)}$, где $(90^\circ + \alpha)$ – угол β на рисунке 3.4.

Поясняющая схема сложения векторов приведена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Схема сложения векторов воздействий на шов крепления верхнего пояса фермы к фасонке, для схемы ферм на рисунке 3.1, б

Для ферм, имеющих наклон верхнего пояса (см. рисунок 3.1, в), где при этом большее из усилий в поясе расположено слева от узла, величина результирующей определяется по теореме косинусов, через две стороны, и угол между ними: $T = \sqrt{F^2 + (N_2 - N_1)^2 - 2F(N_2 - N_1)\cos(90^\circ - \alpha)}$, где $(90^\circ - \alpha)$ – угол β на рисунке 3.5.

Поясняющая схема сложения векторов приведена на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Схема сложения векторов воздействий на шов крепления верхнего пояса фермы к фасонке, для схемы ферм на рисунке 3.1, в

Фасонки прикреплять к поясу рекомендуется сплошными швами минимальной толщины. Фасонки выпускают за обухи поясных уголков на 10–20 мм. В местах опирания на верхний пояс прогонов фасонки утапливают на 10–15 мм.

В узлах, где к фасонке крепятся пояса, вначале рекомендуется рассчитать длины швов для крепления раскосов и стоек, затем законструировать узел и назначить длину фасонки такой, чтобы на ней размещались швы элементов решетки. Принимая расчетную длину швов для крепления пояса на 10–20 мм меньше длины фасонки, можно определить катет сварного шва у поясов.

Для снижения сварочных напряжений в фасонках стержни решетки не доводятся до поясов на расстояние $a = 6t - 20$ (t – толщина фасонки), но не более 80 мм и не менее 40 мм. Расстояние между сварными швами элементов решетки принимается равным не менее 40 мм.

Габариты фасонки определяются по необходимой длине сварных швов крепления элементов. Следует стремиться к простейшим очертаниям фасонки (квадрат, прямоугольник, прямоугольная трапеция), чтобы упростить их изготовление и уменьшить количество резов при изготовлении элемента. Целесообразно унифицировать размеры фасонки и иметь на ферму не более одного-двух типоразмеров. Высоту фасонки рекомендуется принимать в соответствии со стандартным размером ширины листа (см. приложение Б).

4 ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ МАКСВЕЛЛА – КРЕМОНЫ ДЛЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФЕРМЫ

Работа элементов треугольной фермы отличается от ферм с параллельными поясами или трапециевидным очертанием. Здесь максимальные усилия в поясах возникают у опор, а стойки, имеющие нулевые усилия, служат для повышения жесткости конструкции.

На рисунке 4.1 приведен вариант треугольной стропильной фермы с действующими нагрузками и реакциями. На рисунке 4.2 приведено решение задачи по определению усилий в элементах фермы, графическим методом Максвелла – Кремоны.

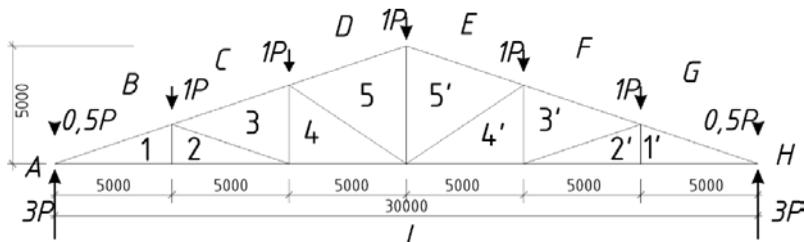


Рисунок 4.1 – Схема фермы

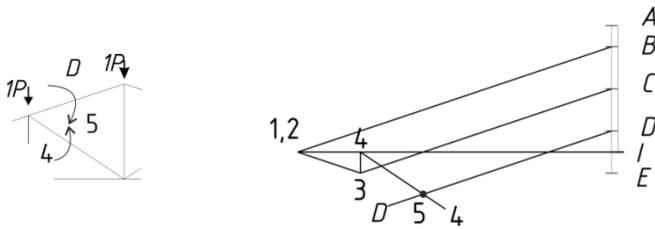


Рисунок 4.7 – Открытие области «5»

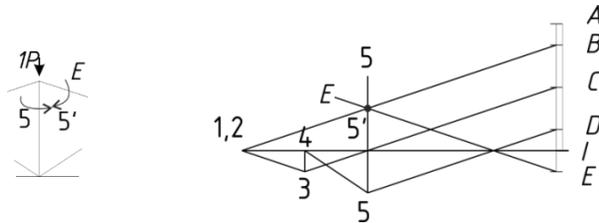


Рисунок 4.8 – Открытие области «5'»

5 ПРИМЕР РАСЧЕТА УЗЛОВ ФЕРМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОЯСАМИ

За исходные данные примем: схему фермы из раздела 1 пособия (представлена на рисунке 5.1); результаты расчета из раздела 1, а именно часть таблицы 1.1, которые сведены в таблицу 5.1 и принятые унифицированные сечения стержней, которые указаны на рисунке 5.2.

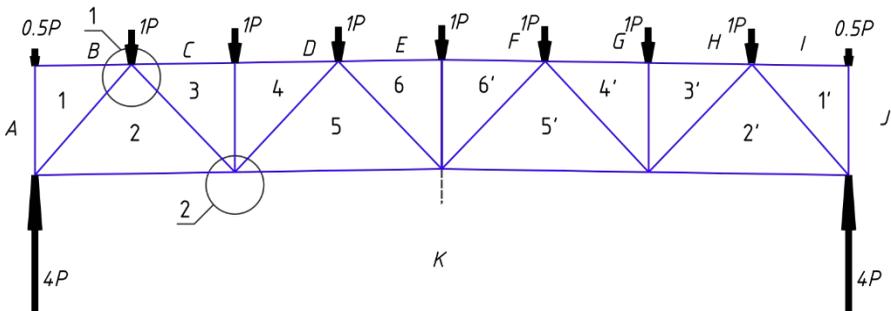


Рисунок 5.1 – Схематичное изображение фермы в масштабе с нанесенными нагрузками и реакциями, а также с поименованными областями

Таблица 5.1 – Результаты расчета усилий в стержнях фермы

Элемент	Номер стержня	Усилие N , кН (при $P = 100$ кН)	
		сжатие (-)	растяжение (+)
Верхний пояс	$B-1$	0	
	$C-3$	548,3	
	$D-4$	548,3	
	$E-6$	737,9	
Нижний пояс	$2-K$		310,7
	$5-K$		690,7
Раскосы	$1-2$	471,1	
	$4-5$	208	
	$2-3$		342,3
	$5-6$		67,8
Стойки	$3-4$	100	
	$6-6$	77,9	

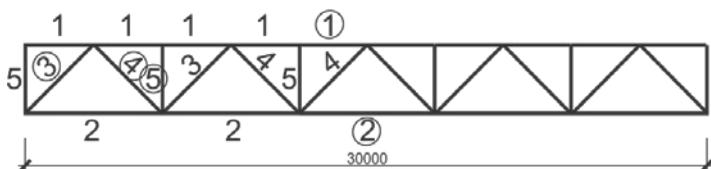


Рисунок 5.2 – Схема маркировки унифицированных элементов фермы

В результате расчета к изготовлению принимаются элементы согласно маркировке унифицированных типоразмеров:

- «1» – 2L 125/10;
- «2» – 2L 110/8;
- «3» – 2L 125/10;
- «4» – 2L 80/6;
- «5» – 2L 80/6.

Расчет узла № 1. Перед началом конструирования определяемся с материалами для выполнения сварного соединения. Выясняем расчетный случай для углового сварного соединения.

По заданию сталь «С235». По СНиП «Стальные конструкции» [1, таблица 55*] (см. таблицу Б.5) принимаем марку электрода.

Принимаем электрод марки «Э42».

Расчетное сопротивление материала электрода по СНиП «Стальные конструкции» [1, таблица 56] (см. таблицу Б.7) составляет: $R_{wf} = 180$ МПа.

Расчетное сопротивление материала границы сплавления, в соответствии с [1, таблица 3] (таблица Б.6), вычисляется по формуле: $R_{wz} = 0,45R_{in}$, где R_{in} – нормативный предел прочности стали.

Для стали С235 $R_{in} = 360$ МПа: $R_{wz} = 0,45 \cdot 360 = 162$ МПа.

По [1, таблица 34*] (см. таблицу Б.9) принимаем значения β_f и β_z .

Сварка полуавтоматическая, соответственно $\beta_f = 0,7$ и $\beta_z = 1,0$.

Определяемся с расчетным случаем, выполняя проверку $\min(\beta_f R_{wf}; \beta_z R_{wz})$:

$$\beta_f R_{wf} = 0,7 \cdot 180 \cdot 126 \quad \beta_z R_{wz} = 1,0 \cdot 162 \cdot 162 \quad \beta_f R_{wf} < \beta_z R_{wz}.$$

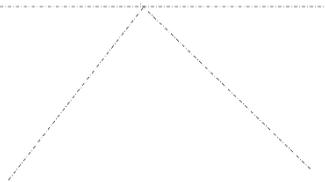
Дальнейший расчет сварных соединений ведем по металлу шва (в индексе используется символ «f»).

Определим дополнительные коэффициенты для формул расчета шва по прочности:

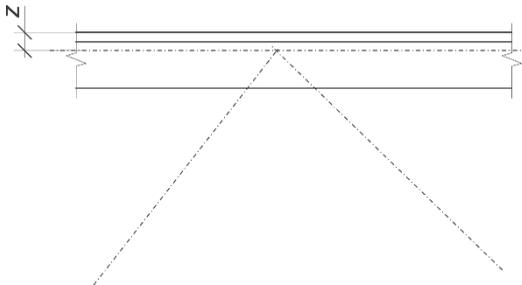
– γ_{wf} и γ_{wz} принимаем из СНиП «Стальные конструкции» [1]: $\gamma_{wf} = 1,0$ и $\gamma_{wz} = 1,0$;

– γ_c принимаем по СНиП «Стальные конструкции» [1, таблица 6*]: $\gamma_c = 1,0$.

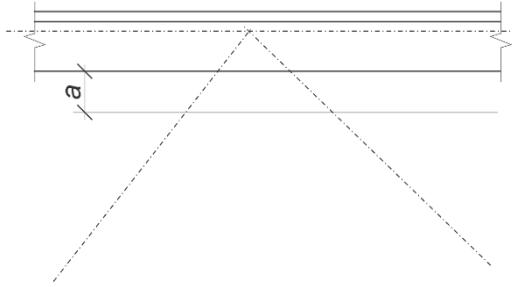
1 Вырисовываем осевые линии узла в соответствии с размерами фермы. Так как данная ферма имеет малый уклон поясов (при этом пояса параллельны друг другу) будем рассматривать решение по аналогии со схемами (см. рисунок 3.2, а, б).



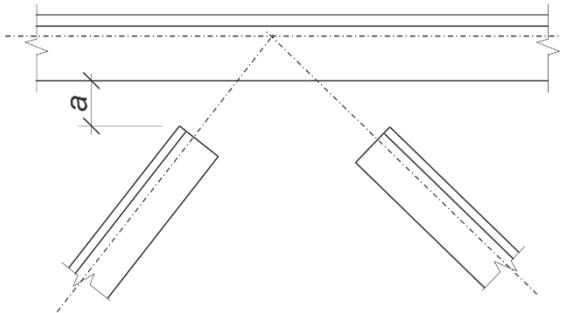
2 На горизонтальную ось пояса накладываем сечение соответствующего элемента. В данном случае это «1» – 2L 125/10, при этом выполняется привязка элемента к оси на величину «z», расстояние от обушка до центра тяжести сечения (таблица Б.4).



3 Отступаем вниз от края элемента пояса на расстояние $a = 40 \dots 60$ мм, и проводим линию, которая будет границей, ближе которой к поясу не должны приближаться другие элементы.



4 Вырисовываем элементы раскосов фермы в соответствии с принятыми сечениями и их привязкой к центру тяжести. Так, для левого раскоса принято «3» – 2L 125/10, для правого раскоса «4» – 2L 80/6. При этом, при достижении линии условной границы, элементы обрезают под прямым углом к собственной оси.



5 Вычисляем длины швов крепления раскосов.

Раскос «1–2» – 2L 125/10.

Расчет выполняется по формулам

$$l_{w,o} = \frac{N_o}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}} + 10 \text{ мм}; \quad l_{w,\pi} = \frac{N_\pi}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}} + 10 \text{ мм}.$$

Осевое усилие в раскосе $N = 471,1 \text{ кН}$.

Усилие, приходящееся на обушек, $N_o = N(1 - \alpha)$, где $\alpha = 0,3$.

Усилие, приходящееся на перо, $N_\pi = N\alpha$, где $\alpha = 0,3$.

$N_o = 471,1(1 - 0,3) = 329,77 \text{ кН}$; $N_\pi = 471,1 \cdot 0,3 = 141,33 \text{ кН}$.

Примем катет шва в зависимости от указанных условий в теоретической части пособия (обращайте внимание на толщину полки уголка – 10 мм).

$$k_f = 6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Количество швов на узел соединения $n = 2$ (по одному шву с обеих сторон от фасонки).

$$l_{w,o} = \frac{329,77 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,22830 \text{ м.}$$

$$l_{w,\pi} = \frac{141,33 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,10310 \text{ м.}$$

Раскос «2–3» – 2L 80/6.

Осевое усилие в раскосе $N = 342,3$ кН.

Усилие, приходящееся на обушек, $N_o = 342,3(1 - 0,3) = 239,61$.

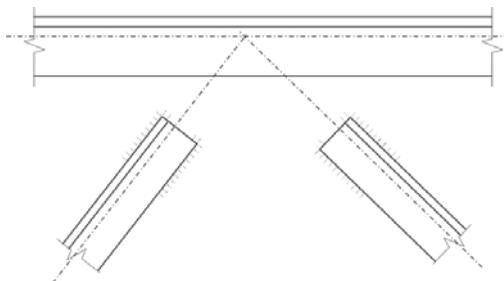
Усилие, приходящееся на перо, $N_\pi = 342,3 \cdot 0,3 = 102,69$.

$k_f = 4 \text{ мм} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (толщина полки уголка 6 мм).

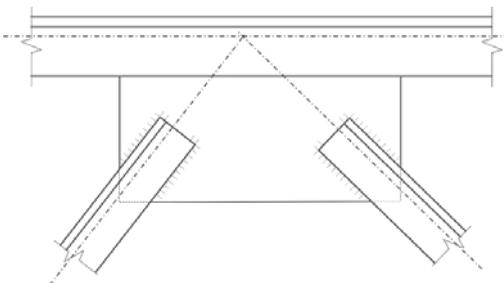
$$l_{w,o} = \frac{239,61 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,24850 \text{ м.}$$

$$l_{w,\pi} = \frac{102,69 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,11220 \text{ м.}$$

6 Далее наносим полученные швы на соответствующие раскосы, начиная от конца. При этом не забываем изобразить по два парных штриха с торца каждого из раскосов.

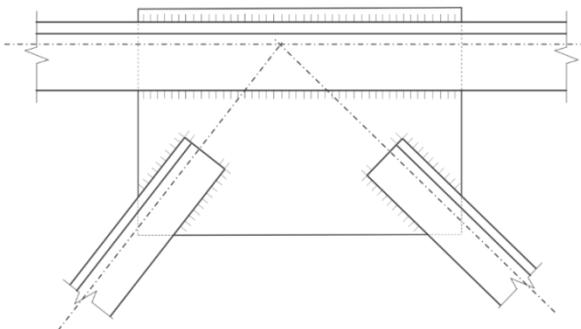


7 Проводим прямые линии, проходящие через крайние точки нанесенных сварных швов, которые будут являться границами фасонки.



8 Проводим вертикальные линии сквозь пояс и выводим их на 20 мм выше верхней границы. На этом формирование габаритов фасонки завершается.

Полученный горизонтальный размер фасонки должен быть округлен до ширины листа, установленного по ГОСТам таблицы Б.3. Здесь же наносят изображение сварного шва, приваривающего пояс к фасонке по всей ширине фасонки.



9 Выполняем проверку горизонтального шва крепления пояса к фасонке. Для этого снимаем геометрическую ширину фасонки с чертежа.

Примем геометрическую ширину фасонки $l = 500$ мм.

При этом расчетные длины швов будут составлять

$$l_w = l - 10 \text{ мм} = 500 - 10 = 490 \text{ мм} = 0,49 \text{ м.}$$

Так как пояс расположен горизонтально, то расчет выполняем по формуле

$$k_f = \frac{T}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 4 l_w \beta_f},$$

где $T = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + F^2},$

$$N_1 = N = 0; \quad N_2 = N_{C-3} = 548,3 \text{ кН};$$

$$F = 1P = 100 \quad (P = 100 \text{ кН по заданию}).$$

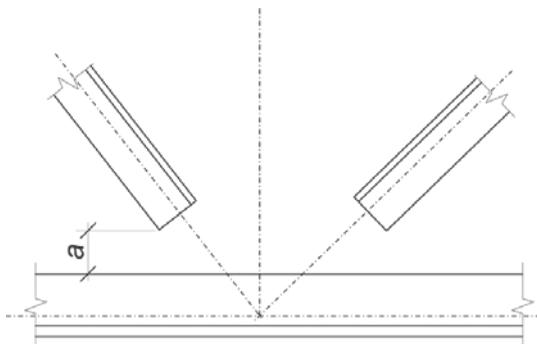
$$T = \sqrt{(548,3 - 0)^2 + 100^2} = 557,344$$

$$k_f = \frac{557,344 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4 \cdot 0,49 \cdot 0,7} = 5,642 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,6 \text{ мм.}$$

Примем $k_f = 6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

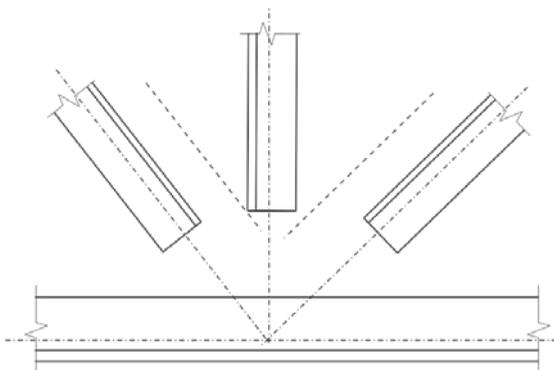
Расчет узла № 2. Принцип конструирования узла аналогичен первому узлу. Особенностью является то, что за элементом пояса на схему узла первыми накладываются элементы с большим усилием, так как длина сварного шва для их крепления ориентировочно выше.

Опустим пункты с 1-го по 4-й и сразу представим схему узла с наложенными поясом и раскосами.



1 От раскосов, внутрь, откладываем зону в 30–40 мм.

После этого наносим изображение элемента стойки. Обрываем стойку при пересечении данной линии.



2 Вычисляем длины швов крепления раскосов и стойки.

ВНИМАНИЕ! Для элементов с нулевым усилием в стержне, катет шва назначается в соответствии с нормативными требованиями, длина сварного шва также назначается конструктивно и составляет не менее $l_{w, \min} = 40$ мм, но не более $l_{w, \max} = 85\beta_f k_f$.

Раскос «2–3» – 2L 80/6.

Расчет крепления данного элемента выполнен ранее и в результате принято: $k_f = 4$ мм; $l_{w, o} = 250$ мм; $l_{w, n} = 120$ мм.

Раскос «4–5» – 2L 125/10.

$N = 208,0$ кН.

$N_o = 208,0(1 - 0,3) = 145,6$ кН; $N_n = 208,0 \cdot 0,3 = 62,4$ кН.

$k_f = 6$ мм = $6 \cdot 10^{-3}$ м (толщина полки уголка 10 мм).

$$l_{w,o} = \frac{145,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,10610 \text{ м.}$$

$$l_{w,\Pi} = \frac{62,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,0560 \text{ м.}$$

Стойка «3–4» – 2L 80/6

$N = 100,0$ кН.

$N_o = 100,0(1 - 0,3) = 70,0$ кН; $N_{\Pi} = 100,0 \cdot 0,3 = 30,0$ кН.

$k_f = 4 \text{ мм} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (толщина полки уголка 6 мм).

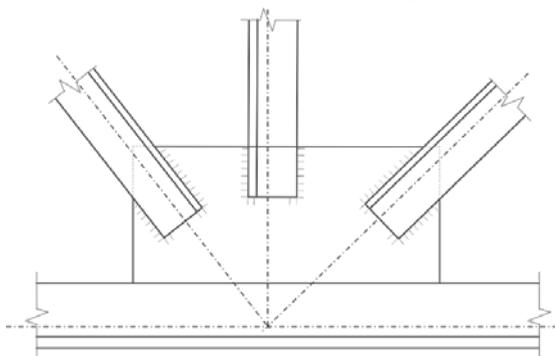
$$l_{w,o} = \frac{70,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,0790 \text{ м.}$$

$$l_{w,\Pi} = \frac{30,0 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,0440 \text{ м.}$$

ВНИМАНИЕ! Если значение длины сварного шва в результате расчета менее $l_{w, \min} = 40$ мм, то принимают $l_w = 40$ мм.

3 Наносим полученные швы на соответствующие элементы, начиная от конца. При этом не забываем изобразить по два парных штриха с торца каждого из раскосов.

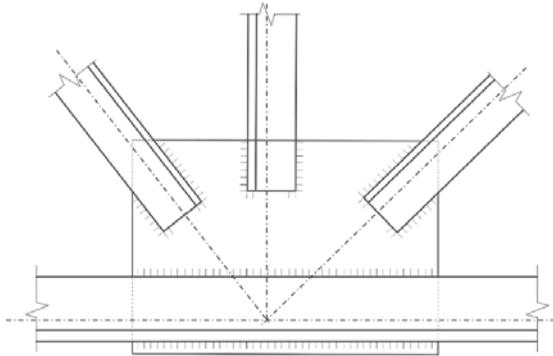
Проводим прямые линии, проходящие через крайние точки нанесенных сварных швов, которые будут являться границами фасонки.



4 Проводим вертикальные линии сквозь пояс и выводим их на 20 мм ниже нижней границы. На этом формирование габаритов фасонки завершается.

Полученный горизонтальный размер фасонки должен быть округлен до ширины листа, установленного по ГОСТам таблицы Б.3.

Здесь же наносят изображение сварного шва, приваривающего пояс к фасонке по всей ширине фасонки.



5 Выполняем проверку горизонтального шва крепления пояса к фасонке. Для этого снимаем геометрическую ширину фасонки с чертежа.

Примем геометрическую ширину фасонки $l = 450$ мм.

При этом расчетные длины швов

$$l_w = l - 10 \text{ мм} = 450 - 10 = 440 \text{ мм} = 0,44 \text{ м}.$$

Так как на пояс не действует вертикальная нагрузка, то расчет выполняем

по формуле
$$k_f = \frac{N_2 - N_1}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 4 l_w \beta_f}.$$

$$N_1 = N_{2-K} = 310,7 \text{ кН};$$

$$N_2 = N_{5-K} = 690,7 \text{ кН};$$

$$N_2 - N_1 = 690,7 - 310,7 = 380,0$$

$$k_f = \frac{380,0 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4 \cdot 0,44 \cdot 0,7} = 1,714 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,714 \text{ мм}.$$

Примем $k_f = 6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (толщина полки уголка 8 мм).

Результаты расчета узлов приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчета сварных соединений элементов решетки фермы

Узел	Стержень	Сечение	Усилие N , кН	По обуху			По перу		
				N_o , кН	k_f , мм	l_w , мм	N_o , кН	k_f , мм	l_w , мм
1	1–2	2L 125/10	471,1	329,77	6	230	141,33	6	110
	2–3	2L 80/6	342,3	239,61	4	250	102,69	4	120
	В. пояс	2L 125/10	557,344	557,344	6	490	557,344	6	490
2	4–5	2L 125/10	208,0	145,6	6	110	62,4	6	60
	3–4	2L 80/6	100,0	70,0	4	80	30,0	4	40
	Н. пояс	2L 110/8	380	380	6	440	380	6	440

Пояснительная записка расчетно-графической работы должна содержать следующую информацию:

1 Исходные данные на расчет.

2 Подбор сварочного электрода, принятые значения используемых нормативных расчетных характеристик сварных швов.

3 Пропорционально вычерченные узлы фермы (два узла).

4 Расчет сварных соединений в указанных узлах фермы.

5 Сводную таблицу результатов расчета.

6 Список использованной литературы.

Пояснительная записка пишется черными чернилами, эскизы вычерчиваются карандашом на листах записки. Допускается выполнение расчетно-графических работ в электронном виде с распечаткой на бумажном носителе. Текстовый материал и рисунки выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД, СПДС и ГОСТ 21.101–93.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Схемы ферм по заданию

№ схемы	Схемы стропильной фермы
01	<p>Diagram 01: A truss structure with a height of 3000 and a total length of 12000. The truss consists of 4 panels, each 3000 units wide. The top chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The bottom chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The top chord is subjected to a series of vertical loads: $0,5P$ at the left end, P at the midpoint of the first panel, P at the midpoint of the second panel, P at the midpoint of the third panel, and $0,5P$ at the right end.</p>
02	<p>Diagram 02: A truss structure with a height of 3000 and a total length of 18000. The truss consists of 6 panels, each 3000 units wide. The top chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The bottom chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The top chord is subjected to a series of vertical loads: $0,5P$ at the left end, P at the midpoint of the first panel, P at the midpoint of the second panel, P at the midpoint of the third panel, P at the midpoint of the fourth panel, P at the midpoint of the fifth panel, and $0,5P$ at the right end.</p>
03	<p>Diagram 03: A truss structure with a height of 3000 and a total length of 24000. The truss consists of 8 panels, each 3000 units wide. The top chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The bottom chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The top chord is subjected to a series of vertical loads: $0,5P$ at the left end, P at the midpoint of the first panel, P at the midpoint of the second panel, P at the midpoint of the third panel, P at the midpoint of the fourth panel, P at the midpoint of the fifth panel, P at the midpoint of the sixth panel, P at the midpoint of the seventh panel, and $0,5P$ at the right end.</p>
04	<p>Diagram 04: A truss structure with a height of 3000 and a total length of 30000. The truss consists of 10 panels, each 3000 units wide. The top chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The bottom chord is supported by a pin support on the left and a roller support on the right. The top chord is subjected to a series of vertical loads: $0,5P$ at the left end, P at the midpoint of the first panel, P at the midpoint of the second panel, P at the midpoint of the third panel, P at the midpoint of the fourth panel, P at the midpoint of the fifth panel, P at the midpoint of the sixth panel, P at the midpoint of the seventh panel, P at the midpoint of the eighth panel, P at the midpoint of the ninth panel, and $0,5P$ at the right end.</p>

№ схемы	Схемы стропильной фермы
05	
06	
07	
08	
09	

№ схемы	Схемы стропильной фрезы
10	
11	
12	
13	
14	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Справочные данные для выполнения РГР

Таблица Б.1 – Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката по ГОСТ 27772–88 для стальных конструкций зданий и сооружений

Сталь	Толщина проката ¹⁾ , мм	Нормативное сопротивление ²⁾ проката, МПа (кгс/мм ²)				Расчетное сопротивление ³⁾ проката, МПа (кгс/мм ²)			
		листового, широкополосного универсального		фасонного		листового, широкополосного универсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{yn}	R_{yn}	R_{in}	R_y	R_u	R_y	R_u
С235	От 2 до 20	235 (24)	360 (37)	235 (24)	360 (37)	230 (2350)	350 (3600)	230 (2350)	350 (3600)
	Св. 20 до 40	225 (23)	360 (37)	225 (23)	360 (37)	220 (2250)	350 (3600)	220 (2250)	350 (3600)
	» 40 » 100	215 (22)	360 (37)	–	–	210 (2150)	350 (3600)	–	–
	Св. 100	195 (20)	360 (37)	–	–	190 (1950)	350 (3600)	–	–
С245	От 2 до 20	245 (25)	370 (38)	245 (25)	370 (38)	240 (2450)	360 (3700)	240 (2450)	360 (3700)
	Св. 20 до 30	–	–	235 (24)	370 (38)	–	–	230 (2350)	360 (3700)
С255	От 2 до 3,9	255 (26)	380 (39)	–	–	250 (2550)	370 (3800)	–	–
	» 4 » 10	245 (25)	380 (39)	255 (26)	380 (39)	240 (2450)	370 (3800)	250 (2550)	370 (3800)
	Св. 10 до 20	245 (25)	370 (38)	245 (25)	370 (38)	240 (2450)	360 (3700)	240 (2450)	360 (3700)
	» 20 » 40	235 (24)	370 (38)	235 (24)	370 (38)	230 (2350)	360 (3700)	230 (2350)	360 (3700)
С275	От 2 до 20	275 (28)	380 (39)	275 (28)	390 (2750)	270 (2750)	370 (3800)	270 (2750)	380 (3900)
	Св. 10 до 20	265 (27)	370 (38)	275 (28)	260 (2650)	260 (2650)	360 (3700)	270 (2750)	370 (3800)
С285	От 2 до 3,9	285 (29)	390 (40)	–	–	280(2850)	380 (3900)	–	–
	» 4 » 10	275 (28)	390 (40)	285 (29)	400(41)	270 (2750)	380 (3900)	280(2850)	390 (4000)
	Св. 10 до 20	265 (27)	380 (39)	275 (28)	390 (40)	260 (2650)	370 (3800)	270 (2750)	380 (3900)

Окончание таблицы Б.1

Сталь	Толщина проката ¹⁾ , мм	Нормативное сопротивление ²⁾ проката, МПа (кгс/мм ²)				Расчетное сопротивление ³⁾ проката, МПа (кгс/мм ²)			
		листового, широкополосного универсального		фасонного		листового, широкополосного универсального		фасонного	
		$R_{\text{вн}}$	$R_{\text{ин}}$	$R_{\text{вн}}$	$R_{\text{ин}}$	R_{y}	$R_{\text{н}}$	R_{y}	$R_{\text{н}}$
С345	От 2 до 10	345 (35)	490 (50)	345 (35)	490 (50)	335 (3400)	480 (4900)	335 (3400)	480 (4900)
	Св. 10 до 20	325 (33)	470 (48)	325 (33)	470 (48)	315 (3200)	460 (4700)	315 (3200)	460 (4700)
	» 20 » 40	305 (31)	460 (47)	305 (31)	460 (47)	300 (3050)	450 (4600)	300 (3050)	450 (4600)
	» 40 » 60	285 (29)	450 (46)	–	–	280 (2850)	440 (4500)	–	–
	» 60 » 80	275 (28)	440 (45)	–	–	270 (2750)	430 (4400)	–	–
» 80 » 160	265 (27)	430 (44)	–	–	260 (2650)	420 (4300)	–	–	
С345К	От 4 до 10	345 (35)	470(48)	345 (35)	470 (48)	335 (3400)	460 (4700)	335 (3400)	460 (4700)
С375	» 2 » 10	375 (38)	510 (52)	375 (38)	510 (52)	365 (3700)	500 (5100)	365 (3700)	500 (5100)
	Св. 10 до 20	355 (36)	490 (50)	355 (36)	490 (50)	345 (3500)	480 (4900)	345 (3500)	480 (4900)
	» 20 » 40	335 (34)	480 (49)	335 (34)	480 (49)	325 (3300)	470 (4800)	325 (3300)	470 (4800)
С390	От 4 до 50	390 (40)	540 (55)	–	–	380 (3850)	530 (5400)	–	–
С390К	» 2 » 30	390 (40)	540 (55)	–	–	380 (3850)	530 (5400)	–	–
С440	» 4 » 30	440 (45)	590 (60)	–	–	430 (4400)	575 (5850)	–	–
	Св. 30 до 50	410 (42)	570 (58)	–	–	400 (4100)	555 (5650)	–	–
С590	От 10 до 36	540 (55)	635 (65)	–	–	515 (5250)	605 (6150)	–	–
С590К	» 16 » 40	540 (55)	635 (65)	–	–	515 (5250)	605 (6150)	–	–

¹⁾ За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки (минимальная его толщина 4 мм).

²⁾ За нормативное сопротивление приняты нормативные значения предела текучести и временного сопротивления по ГОСТ 27772–88.

³⁾ Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений на коэффициенты надежности по материалу с округлением до 5 МПа (50 кгс/см²).

Таблица Б.2 – Коэффициенты ϕ продольного изгиба центрально сжатых элементов (увеличено в 1000 раз)

Гибкость, λ	Коэффициенты ϕ для элементов из стали с расчетным сопротивлением R_y , МПа																		
	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
10	987	987	987	986	986	986	986	985	985	984	984	984	983	983	983	982	982	982	982
20	965	964	963	962	961	960	959	958	957	956	955	954	954	953	952	951	950	950	949
30	936	934	932	931	929	927	925	923	922	920	918	917	915	914	912	911	909	908	906
40	902	899	896	893	890	888	885	882	880	877	874	872	870	867	865	863	860	858	856
50	864	859	855	851	847	843	839	836	832	828	825	821	818	815	811	808	805	802	799
60	821	815	810	804	799	794	789	784	779	774	770	765	761	756	752	748	741	734	727
70	774	767	760	754	747	741	733	723	714	704	695	687	678	670	662	653	646	638	630
80	722	710	697	685	674	662	651	641	631	621	611	601	592	583	574	565	556	548	540
90	651	637	624	611	599	587	575	564	553	542	532	522	512	502	492	483	474	465	456
100	583	569	555	542	529	516	504	492	481	470	459	448	437	427	417	407	397	387	378
110	521	506	491	478	464	451	439	426	414	403	391	380	369	358	347	338	329	321	313
120	462	447	432	418	405	391	378	366	352	341	330	320	311	302	294	286	279	272	266
130	409	393	378	364	348	335	323	312	302	293	284	275	267	260	253	246	240	234	228
140	359	341	327	314	302	291	281	271	263	254	247	239	232	226	220	214	209	204	199
150	313	299	287	276	265	255	247	238	231	223	217	210	204	199	193	188	184	179	175
160	277	265	254	244	235	226	218	211	204	198	192	186	181	176	171	167	163	159	155
170	247	236	227	218	209	202	195	188	182	177	171	166	162	157	153	149	146	142	139
180	222	2012	204	196	188	182	175	169	164	159	154	150	146	142	138	134	131	128	125
190	200	192	184	177	170	164	159	153	148	144	140	136	132	128	125	122	119	116	113
200	182	174	167	161	155	149	144	139	135	131	127	123	120	117	114	111	108	106	103

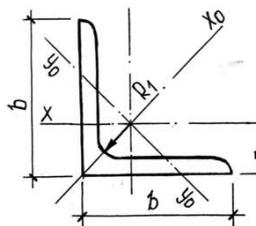
Окончание таблицы Б.2

Гибкость, λ	Коэффициенты ϕ для элементов из стали с расчетным сопротивлением R_y , МПа																			
	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	
10	981	981	981	981	980	980	980	980	979	979	979	979	978	978	978	978	978	977	977	
20	948	947	947	946	945	944	944	943	942	942	941	941	940	939	939	938	938	937	937	
30	905	904	902	901	900	898	897	896	895	894	892	891	890	889	888	887	886	885	884	
40	854	852	850	848	846	844	842	840	838	836	835	833	831	830	828	826	825	823	822	
50	796	793	790	787	785	782	779	777	774	772	769	767	763	759	754	750	745	741	737	
60	721	714	708	701	695	689	683	677	672	666	660	655	649	644	638	633	628	623	617	
70	623	616	608	601	594	587	581	574	567	561	554	548	542	535	529	523	517	511	505	
80	532	524	516	508	500	492	485	477	470	463	456	448	441	434	427	420	413	406	399	
90	447	438	429	421	413	404	396	388	380	372	364	356	349	343	337	331	325	320	314	
100	396	359	350	342	335	328	321	314	308	302	296	291	286	280	276	271	266	262	258	
110	306	299	292	285	279	273	268	262	257	252	248	243	239	234	230	226	222	219	215	
120	259	253	248	242	237	232	227	223	218	214	210	206	203	199	196	192	189	186	183	
130	223	218	213	208	204	200	196	192	188	184	181	178	175	171	169	166	163	160	158	
140	194	190	185	181	178	174	170	167	164	161	158	155	152	149	147	144	142	140	138	
150	171	167	163	160	156	153	150	147	144	142	139	136	134	132	129	127	125	123	121	
160	151	148	145	142	139	136	133	131	128	126	123	121	119	117	115	113	111	110	108	
170	135	132	130	127	124	122	119	117	115	113	111	109	107	105	103	101	100	098	097	
180	122	119	117	114	112	110	107	105	103	102	100	098	096	095	093	092	090	089	087	
190	111	108	106	104	101	099	098	096	094	092	090	089	087	086	085	083	082	081	079	
200	101	099	096	094	093	091	089	087	086	084	083	081	080	078	077	076	075	074	072	

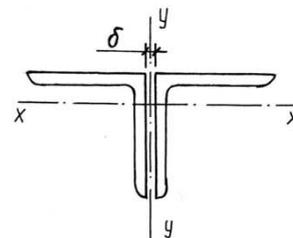
Т а б л и ц а Б.3 – Сортамент листового проката

№ п/п	Ширина проката, мм	Вид проката	Размеры проката, мм		
			ширина	толщина	градация толщин
1	До 200	Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой ГОСТ 103–2006	40, 45, 50, 55	4–32	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 42, 50, 60
			60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95	6–60	
			100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160	6–60	
			170, 180, 190, 200	11–60	
2	200–1050	Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный ГОСТ 82–70	200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 460, 480, 500, 520, 530, 560, 600, 630, 650, 670, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050	6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 60 длина: 5000–12000	
3	500–4400	Прокат листовой горячекатаный (поставляемый в листах) ГОСТ 19903–2015	Ширина: 500; 510; 600; 650; 670; 700; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2400; 2500; 2600; 2700; 2800; 2900; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4200; 4400 Длина: 710; 1200; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2200; 2500; 2800; 3000; 3200; 3400; 3500; 3600, 4000; 4500; 5000; 5500; 6000; 6500; 7000; 7500; 8000; 8200; 8500, 9000; 10000; 11000; 12000	0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,63; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 1,00; 1,20; 1,30; 1,40; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0; 17,5; 18,0; 18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 22,5; 23,0; 23,5; 24,0; 24,5; 25,0; 25,5; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0; 31,0; 32,0; 34,0; 36,0; 38,0; 40,0; 42,0; 45,0; 48,0; 50,0; 52,0; 55,0; 58,0; 60,0; 62,0; 65,0; 68,0; 70,0; 72,0; 75,0; 78,0; 80,0; 82,0; 85,0; 87,0; 90,0; 92,0; 95,0; 100,0; 105,0; 110,0; 115,0; 120,0; 125,0; 130,0; 135,0; 140,0; 145,0; 150,0; 155,0; 160,0	
4	500–2200	Прокат листовой горячекатаный (поставляемый в рулонах) ГОСТ 19903–2015	500; 530; 600; 630; 1000; 1100; 1250	1,2–25	1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,0; 5,3; 5,5; 6,0; 6,3; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,7; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0; 17,5; 18,0; 18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 22,5; 23,0; 23,5; 24,0; 24,5; 25,0
			550	1,2–12,7	
			650; 670; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1400; 1500	1,5–25	
			1600; 1700; 1800	3–25	
			1900; 2000	6–25	
			2100; 2200	7–10	

Таблица Б.4 – Уголки стальные горячекатаные равнополочные (ГОСТ 8509–93)



Условные обозначения:
 b – ширина полки;
 t – толщина полки;
 R_1 – радиус внутреннего закругления;
 A – площадь поперечного сечения;
 I – момент инерции;
 i – радиус инерции;



z_0 – расстояние от центра тяжести до наружной грани полки.

Размеры, мм		R_1 , мм	A , см ²	Масса 1 м, кг	z_0 , см	Справочные данные для осей						Радиус инерции i_y для двух уголков при δ , мм			
b	t					$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0		8	10	12	14
						I_x , см ⁴	i_x , см	I_{x0} , см ⁴	i_{x0} , см	I_{y0} , см ⁴	i_{y0} , см				
50*	5*	5,5	4,8	3,77	1,42	11,20	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	2,38	2,45	2,53	2,61
63*	4	7	4,96	3,9	1,69	18,86	1,95	29,90	2,45	7,81	1,25	2,86	2,93	3,01	3,09
	5*		6,13	4,81	1,74	23,10	1,94	36,60	2,44	9,52	1,25	2,89	2,96	3,04	3,12
	6		7,28	5,72	1,78	27,06	1,93	42,94	2,43	11,18	1,24	2,9	2,99	3,06	3,14
70*	5*	8	6,86	5,38	1,90	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	3,16	3,23	3,3	3,38
	6*		8,15	6,39	1,94	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	3,18	3,25	3,33	3,4
	7		9,42	7,39	1,99	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	3,2	3,28	3,38	3,44
	8		10,67	8,37	2,02	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	3,22	3,29	3,37	3,45
75*	5	9	7,39	5,8	2,02	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	3,35	3,42	3,49	3,57
	6*		8,78	6,89	2,06	46,57	2,30	73,87	2,90	19,28	1,48	3,3	3,44	3,52	3,6
	7		10,15	7,96	2,10	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	3,4	3,47	3,54	3,62
	8		9,02	9,02	2,15	59,84	2,28	94,89	2,87	24,8	1,47	3,43	3,5	3,57	3,65
80*	6	9	9,38	7,36	2,19	56,97	2,47	90,40	3,11	23,54	1,58	3,58	3,65	3,72	3,8
	7*		10,85	8,51	2,23	65,31	2,45	103,66	3,09	26,97	1,58	3,6	3,67	3,75	3,82
	8		12,30	9,65	2,27	73,36	2,44	116,39	3,08	30,32	1,57	3,62	3,69	3,77	3,84

90*	5*	10	10,61	8,33	2,43	82,10	2,78	130,22	3,50	33,97	1,79	3,96	4,04	4,11	4,19
	6*		12,28	9,64	2,47	94,30	2,77	149,67	3,49	38,94	1,78	3,99	4,06	4,13	4,21
	7		13,93	10,93	2,51	106,11	2,76	168,42	3,48	43,80	1,77	4,01	4,08	4,16	4,23
	8		15,60	12,20	2,55	118,00	2,75	186,00	3,46	48,60	1,77	4,04	4,11	4,18	4,26
100*	7*	12	13,75	10,79	2,71	130,59	3,08	207,01	3,88	54,16	1,98	4,38	4,45	4,52	4,59
	8*		15,60	12,25	2,75	147,19	3,07	233,46	3,87	60,92	1,98	4,47	4,54	4,62	4,62
	10		19,24	15,10	2,83	178,95	3,05	283,83	3,84	74,08	1,96	4,44	4,52	4,59	4,66
	12		22,80	17,90	2,91	208,90	3,03	330,95	3,81	86,84	1,95	4,48	4,56	4,63	4,71
	14		26,28	20,63	2,99	237,15	3,0	374,98	3,78	99,32	1,94	4,53	4,6	4,68	4,76
	16		29,68	23,30	3,06	263,82	2,98	416,04	3,74	111,61	1,94	4,64	4,72	4,72	4,8
110*	7	12	15,15	11,89	2,96	175,61	3,40	278,54	4,29	72,68	2,19	4,78	4,85	4,92	5,0
	8*		17,20	13,50	3,0	198,17	3,39	314,51	4,28	81,83	2,18	4,8	4,87	4,95	5,02
125*	8*	14	19,69	15,46	3,36	294,36	3,87	466,76	4,87	121,96	2,49	5,39	5,46	5,53	5,6
	9*		22,00	17,30	3,40	327,48	3,86	520,0	4,86	135,38	2,48	5,41	5,48	5,56	5,63
	10		24,33	19,10	3,45	359,82	3,85	571,04	4,84	148,59	2,47	5,44	5,52	5,58	5,66
	12		28,89	22,68	3,53	422,23	3,82	670,02	4,82	174,43	2,46	5,48	5,55	5,62	5,7
	14		33,37	26,20	3,61	481,76	3,80	763,90	4,78	199,62	2,45	5,52	5,6	5,67	5,75
	16		37,77	29,65	3,68	538,56	3,78	852,84	4,75	224,29	2,44	5,66	5,72	5,72	5,78
140*	9*	14	24,72	19,41	3,78	465,72	4,34	739,42	5,47	192,03	2,79	6,02	6,1	6,16	6,24
	10*		27,33	21,45	3,82	512,29	4,33	813,62	5,46	210,96	2,78	6,05	6,12	6,19	6,26
	12		32,49	25,50	3,90	602,49	4,31	956,98	5,43	248,01	2,76	6,08	6,15	6,25	6,3
160*	10*	16	31,43	24,67	4,30	774,24	4,96	1229,10	6,25	319,3	3,19	6,84	6,91	6,97	7,05
	11*		34,42	27,02	4,35	844,21	4,95	1340,66	6,24	347,77	3,18	6,86	6,93	7,0	7,13
	12		37,39	28,35	4,39	912,89	4,94	1450,0	6,23	375,78	3,17	6,88	6,95	7,02	7,09
	14		43,57	33,97	4,47	1046,47	4,92	1662,13	6,20	430,84	3,16	6,91	6,98	7,05	7,13
	16		49,07	38,52	4,55	1175,19	4,89	1865,73	6,17	484,64	3,14	6,95	7,03	7,1	7,18
	18		54,79	43,01	4,63	1290,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	3,13	7,0	7,07	7,14	7,22
	20		60,40	47,44	4,70	1418,85	4,85	2248,26	6,10	589,43	3,12	7,04	7,11	7,18	7,26

Окончание таблицы Б.4

Размеры, мм		R_1 , мм	A , см ²	Масса l м, кг	z_0 , см	Справочные данные для осей						Радиус инерции i_y для двух уголков при δ , мм			
b	t					$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0		8	10	12	14
						I_{xx} , см ⁴	i_{xx} , см	I_{x0} , см ⁴	i_{x0} , см	I_{y0} , см ⁴	i_{y0} , см				
180*	11*	16	38,80	30,47	4,85	1216,44	5,60	1933,10	7,06	499,78	3,59	7,67	7,74	7,81	7,82
	12*		42,19	33,12	4,89	1316,62	5,59	2092,78	7,04	540,45	3,58	7,69	7,76	7,83	7,84
200*	12*	18	47,10	36,97	5,37	1822,78	6,22	2896,16	7,84	749,40	3,99	8,48	8,55	8,62	8,69
	13		50,85	39,92	5,42	1960,77	6,21	3116,18	7,83	805,35	3,98	8,5	8,58	8,64	8,71
	14*		54,60	42,80	5,46	2097,0	6,20	3333,0	7,81	861,0	3,97	8,52	8,6	8,66	8,73
	16		61,98	48,65	5,54	2362,57	6,17	3755,39	7,78	969,74	3,96	8,56	8,64	8,7	8,77
	20*		76,54	60,08	5,70	2871,47	6,12	4560,42	7,72	1181,9	3,93	8,65	8,72	8,79	8,86
	25		94,29	74,02	5,89	3466,21	6,06	5494,04	7,63	1438,3	3,91	8,74	8,81	8,88	8,95
	30*		111,54	87,56	6,07	4019,60	6,0	6351,05	7,55	1688,1	3,89	8,83	8,9	8,97	9,05
220*	14*	21	60,38	47,40	5,91	2814,36	6,83	4470,15	8,60	1158,5	4,38	9,31	9,37	9,45	9,52
	16*		68,58	53,83	6,02	3175,44	6,80	5045,37	8,58	1305,5	4,36	9,35	9,42	9,49	9,56
250*	16*	24	78,40	61,55	6,75	4717,1	7,76	7492,1	9,78	1942,0	4,98	10,55	10,62	10,68	10,75
	18		87,72	68,86	6,83	5247,24	7,73	8336,69	9,75	2157,7	4,96	10,59	10,65	10,72	10,8
	20*		96,96	76,1	6,91	5764,87	7,71	9159,73	9,72	2370,0	4,94	10,62	10,69	10,76	10,83
	22		106,12	83,31	7,0	6270,32	7,69	9961,6	9,69	2579,0	4,93	10,67	10,74	10,81	10,88
	25		119,71	93,97	7,11	7006,39	7,65	11125,5	9,64	2887,2	4,91	10,72	10,79	10,86	10,93
	28		133,12	104,5	7,23	7716,86	7,61	12243,8	9,59	3189,8	4,90	10,78	10,85	10,92	10,99
	30		141,96	111,44	7,31	8176,82	7,59	12964,6	9,56	3388,9	4,89	10,82	10,89	10,96	10,03

Т а б л и ц а Б.5 – Материалы для сварки, соответствующие стали

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки				
		под флюсом		в углекислом газе (по ГОСТ 8050–85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157–79*)	покрытыми электродами и типов по ГОСТ 9467–75*	
		Марки				
		флюсов (по ГОСТ 9087–81*)	сварочной проволоки (по ГОСТ 2246–70*)			
2, 3 и 4 – во всех районах, кроме I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСтЗкп, ВСтЗпс, ВСтЗсп	АН-348-А, АН-60	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42, Э46	
	C345, C345Т, C375, C375Т, C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-17-М, АН-348-А ¹⁾	Св-10НМА, Св-10Г2 ²⁾ , Св-08ГА ²⁾ , Св-10ГА ²⁾		Э50	
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³⁾	
I – во всех районах; 2, 3 и 4 – в I ₁ , I ₂ , II ₂ и III ₃	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСтЗкп, ВСтЗпс, ВСтЗсп	АН-348-А	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42А, Э46А	
	C345, C345Т, C375, C375Т, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348-А ¹⁾	Св-10НМА, Св-10Г2 ²⁾ , Св-08ГА ²⁾ , Св-10ГА ²⁾		Э50А	
	C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17-М, АН-348-А ¹⁾	Св-10НМА, Св-10Г2 ²⁾ , Св-08ГА ²⁾ , Св-10ГА ²⁾		Э50А	
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ ⁴⁾	Св-08ХГ2СДЮ ⁴⁾	Э50А ³⁾	
	C590, C590К, C590КШ	АН-17-М	Св-08ХН2ГМЮ, Св-10НМА	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМА, Св-08Г2С	Э60, Э70	

¹⁾ Применение флюса АН-348-А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций в климатических районах I₁, I₂, II₂ и III₃ и толщин свыше 32 мм – в остальных климатических районах.

²⁾ Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

³⁾ Применять только электроды марок ОЗС-18 и КД-11.

⁴⁾ Проволока марки Св-08Х1ДЮ поставляется по ТУ 14-1-1148–75, марки Св-08ХГ2СДЮ – по ТУ 14-1-3665–83.

При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице. При этом механические свойства металла шва, выполня-

емого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящей таблице.

Т а б л и ц а Б.6 – Расчетные сопротивления сварных соединений

Сварные соединения	Напряженное состояние		Условное обозначение	Расчетные сопротивления сварных соединений
Стыковые	Сжатие. Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке с физическим контролем качества швов	По пределу текучести	R_{wy}	$R_{wy} = R_y$
		По временному сопротивлению	R_{wu}	$R_{wu} = R_u$
	Растяжение и изгиб при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке	По пределу текучести	R_{wy}	$R_{wy} = 0,85R_y$
		Сдвиг	R_{ws}	$R_{ws} = R_s$
С угловыми швами	Срез (условный)	По металлу шва	R_{wf}	$R_{wf} = 0,55 \frac{R_{wun}}{\gamma_{wm}}$
		По металлу границы сплавления	R_{wz}	$R_{wz} = 0,45R_{un}$
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Для швов, выполняемых ручной сваркой, значения R_{wun} следует принимать равными значениям временного сопротивления разрыву металла шва, указанным в ГОСТ 9467–75*.</p> <p>2 Для швов, выполняемых автоматической или полуавтоматической сваркой, значения R_{wun} следует принимать по [1, таблица 4*].</p> <p>3 Значения коэффициента надежности по материалу шва γ_{wm} следует принимать равными: 1,25 – при значениях R_{wun} не более 490 МПа (5000 кгс/см²); 1,35 – при значениях R_{wun} 590 МПа (6000 кгс/см²) и более.</p> <p>4 Расчетные сопротивления стыковых соединений элементов из сталей с разными нормативными сопротивлениями следует принимать как для стыковых соединений из стали с меньшим значением нормативного сопротивления.</p> <p>5 Расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами приведены в [1, таблица 56].</p>				

Т а б л и ц а Б.7 – Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами

Сварочные материалы		R_{wm} , МПа (кгс/см ²)	R_{wf} , МПа (кгс/см ²)
тип электрода (по ГОСТ 9467–75)	марка проволоки		
Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АН3	410 (4200)	180 (1850)
		450 (4600)	200 (2050)
		490 (5000)	215 (2200)
Э60	СВ-08Г2С*, СВ-08Г2СЦ*, СВ-10НМА, СВ-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХН2ГМЮ	685 (7000)	280 (2850)
Э85	–	835 (8500)	340 (3450)
*Только для швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см ²) и более.			

Т а б л и ц а Б.8 – Расчетные сопротивления сварных соединений, выполненных автоматической или полуавтоматической сваркой

Марки проволоки (по ГОСТ 2246–70*) для автоматической или полуавтоматической сварки		Марки порошковой проволоки (по ГОСТ 26271–84)	Значения нормативного сопротивления металла шва $R_{\text{нат}}$, МПа (кгс/см ²)
под флюсом (ГОСТ 9087–81*)	в углекислом газе (по ГОСТ 8050–85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157–79*)		
Св-08, Св-08А	–	–	410 (4200)
Св-08ГА	–	–	450 (4600)
Св-10ГА	Св-08Г2С	ПП-АН8, ПП-АН3	490 (5000)
Св-10НМА, Св-10Г2	Св-08Г2С*	–	590 (6000)
Св-08ХН2ГМЮ, Св-08Х1ДЮ	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГ2СДЮ	–	685 (7000)

*При сварке проволокой Св-08Г2С значение $R_{\text{нат}}$ следует принимать равным 590 МПа (6000 кгс/см²) только для угловых швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см²) и более.

Т а б л и ц а Б.9 – Значения коэффициентов β_f и β_z

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки, мм	Положение шва	Кoeff-фициент	Катеты швов, мм			
			3–8	9–12	14–16	18 и более
Автоматическая, $d = 3...5$	В лодочку	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	Нижнее	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и полуавтоматическая, $d = 1,4...2$	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
Ручная; полуавтоматическая проволокой сплошного сечения, $d < 1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_f	0,7			
		β_z	1,0			

Примечание – Значения коэффициентов соответствуют нормальным режимам сварки.

Т а б л и ц а Б.10 – Минимальные катеты швов k_f в зависимости от толщины свариваемых элементов

В миллиметрах

Вид соединения	Вид сварки	Предел текучести стали, МПа (кгс/см ²)	Толщина более толстого из свариваемых элементов t						
			4–5	6–10	11–16	17–22	23–32	33–40	41–80
Тавровое с двусторонними угловыми швами; нахлесточное и угловое	Ручная	До 430 (4400)	4	5	6	7	8	9	10
		Св. 430 (4400) до 530 (5400)	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и полуавтоматическая	До 430 (4400)	3	4	5	6	7	8	9
		Св. 430 (4400) до 530 (5400)	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная	До 380 (3900)	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и полуавтоматическая		4	5	6	7	8	9	10

Примечания

1 В конструкциях из стали с пределом текучести свыше 530 МПа (5400 кгс/см²), а также из всех сталей при толщине элементов свыше 80 мм минимальные катеты угловых швов принимаются по специальным техническим условиям.

2 В конструкциях группы 4 минимальные катеты односторонних угловых швов следует уменьшать на 1 мм при толщине свариваемых элементов до 40 мм включительно и на 2 мм – при толщине элементов свыше 40 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(рекомендуемое)

Пример выполнения РГР № 1

Белорусский государственный университет транспорта
Факультет «Промышленное и гражданское строительство»
Кафедра «Строительные технологии и конструкции»

Расчетно-графическая работа № 1
по дисциплине
«Инженерные конструкции»

на тему
«Расчет металлической стропильной фермы»

специальность 1-69 01 01 «Архитектура»

Выполнил
Студент группы

Проверил
Ст. преподаватель

Исходные данные для расчета

Схема № 11'. Величина узловой нагрузки $P = 75$ кН. Сталь С235.

Опорные реакции:

$$R = \frac{1}{2}(2 \cdot 0,5P + 5 \cdot 1P) = 3P.$$

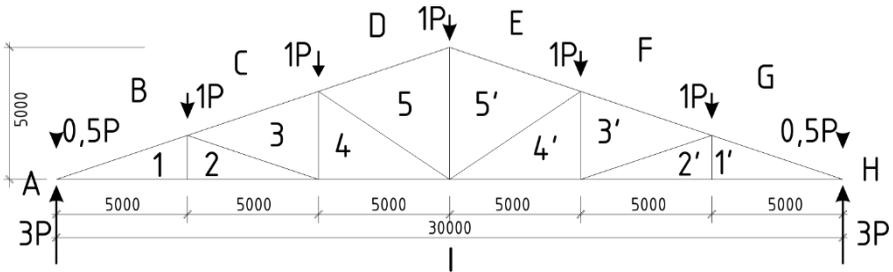


Рисунок 1 – Схема фермы

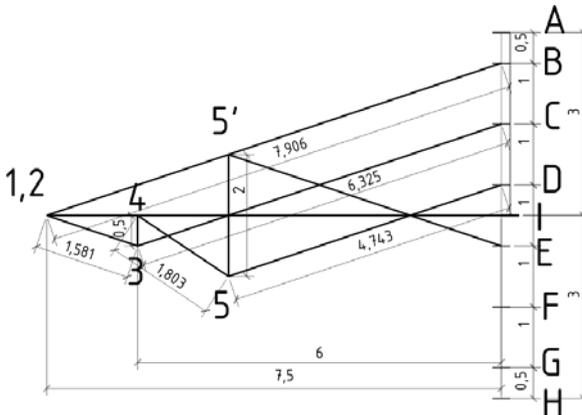


Рисунок 2 – Результаты построения диаграммы Максвелла – Кремоны

Т а б л и ц а 1 – Результаты расчета усилий в стержнях фермы

Элемент	Номер стержня	Усилие от единичной нагрузки	Знак усилия	Усилие N , кН (при $P = 75$ кН)	
				сжатие (-)	растяжение (+)
Верхний пояс	$B-1$	7,906	(-)	592,950	
	$C-3$	6,325	(-)	474,375	
	$D-5$	4,473	(-)	355,725	
Нижний пояс	$1-1$	7,500	(+)		562,5
	$2-1$	7,500	(+)		562,5
	$4-1$	6,000	(+)		450,0
Раскосы	$2-3$	1,581	(-)	118,575	
	$4-5$	1,803	(-)	135,225	
Стойки	$1-2$	0	(+)		0,0
	$3-4$	0,5	(+)		37,5
	$5-5'$	2,0	(+)		150,0

ВНИМАНИЕ! Приведенный здесь пример фермы имеет отличия от указанных схем в задании. Данные из приведенной таблицы 1 не могут быть использованы в расчетно-графической работе.

Таблица 2 – Расчет сечений стержней фермы (для стали С235)

№ п/п	Элементы ригеля	Верхний пояс	Нижний пояс	Раскосы	Стойки	
1	№ стержней	<i>B</i> -1	<i>I</i> -1	4-5	5-5'	
2	Расчётные усилия <i>N</i> , кН	-592,950	562,5	-135,225	150	
3	Требуемая площадь <i>A</i> _{тp} , см ²	67,843	25,744	15,472	8,152	
4	Принятый состав сечения	2L 160/11	2L 110/8	2L 180/11	2L 70/5	
5	Фактическая площадь <i>A</i> , см ²	68,84	27,0	60,94	13,72	
6	Расчетная	<i>l</i> _{ef,x}	1,0· <i>l</i> ₀ = 5,27	1,0· <i>l</i> ₀ = 5,0	1,0· <i>l</i> ₀ = 6,009	0,8· <i>l</i> ₀ = 4,0
7	длина, м	<i>l</i> _{ef,y}	1,0· <i>l</i> ₀ = 5,27	1,0· <i>l</i> ₀ = 5,0	1,0· <i>l</i> ₀ = 6,009	1,0· <i>l</i> ₀ = 5,0
8	Радиус	<i>i</i> _x	4,95	3,39	5,6	2,16
9	инерции, м	<i>i</i> _y	6,93	4,8	7,67	3,16
10	Гибкость	λ_x	106,465	147,493	107,304	185,185
11		λ_y	76,046	104,167	78,344	158,228
12	[λ]		120	400	120	400
13	φ_{\min}		0,498	–	0,498	–
14	$\sigma = \frac{+N}{A}, \sigma = \frac{-N}{\varphi_{\min} A}$		172,961	208,333	44,558	109,329
15	γ_c		0,95	0,95	0,95	0,8
16	$R_y \gamma_c$		218,5	218,5	218,5	184

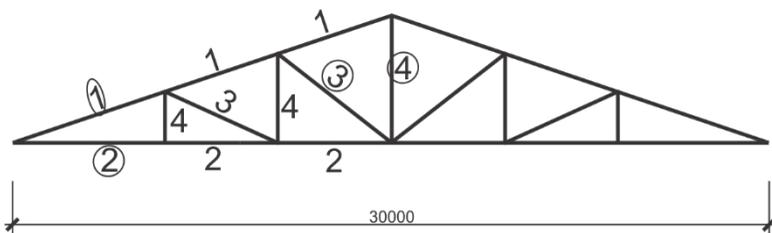


Рисунок 3 – Схема маркировки унифицированных типоразмеров фермы

В результате расчета к изготовлению принимаются элементы согласно маркировке унифицированных типоразмеров:

- «1» – $2L\ 160/11$
- «2» – $2L\ 110/8$
- «3» – $2L\ 180/11$
- «4» – $2L\ 70/5$

ВНИМАНИЕ! Результаты расчета данной РГР-1 (таблицы 1 и 2) являются основой данных для решения РГР-2.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(рекомендуемое)

Пример выполнения РГР № 2

Белорусский государственный университет транспорта
Факультет «Промышленное и гражданское строительство»
Кафедра «Строительные технологии и конструкции»

Расчетно-графическая работа № 2
по дисциплине
«Инженерные конструкции»

на тему
«Конструирование металлической стропильной фермы»
специальность 1-69 01 01 «Архитектура»

Выполнил
Студент группы

Проверил
Ст. преподаватель

Гомель 20__

Исходные данные для расчета

Схема № 11'. Сталь С235

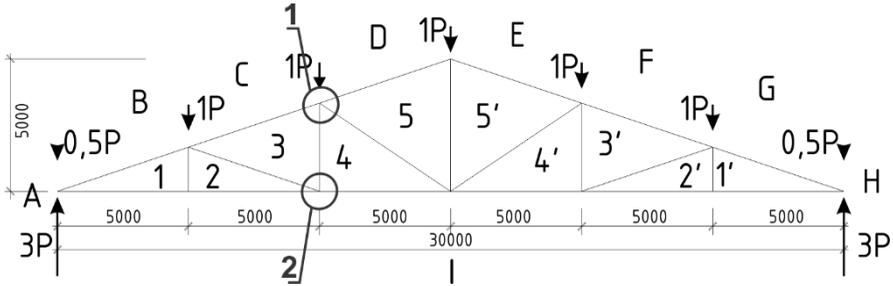


Рисунок 1 – Схема фермы

Таблица 1 – Результаты расчета усилий в стержнях фермы

Элемент	Номер стержня	Усилие N , кН (при $P = 75$ кН)	
		сжатие (-)	растяжение (+)
Верхний пояс	$B-1$	592,950	
	$C-3$	474,375	
	$D-5$	355,725	
Нижний пояс	1-1		562,5
	2-1		562,5
	4-1		450,0
Раскосы	2-3	118,575	
	4-5	135,225	
Стойки	1-2		0,0
	3-4		37,5
	5-5'		150,0

ВНИМАНИЕ! Приведенный здесь пример фермы имеет отличия от указанных схем в задании. Данные из приведенной таблицы 1 не могут быть использованы в расчетно-графической работе.

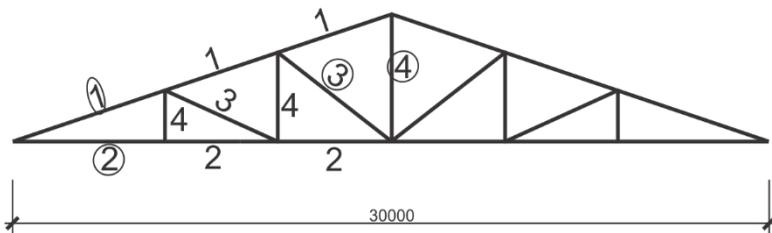


Рисунок 2 – Схема маркировки унифицированных типоразмеров фермы

В результате расчета к изготовлению принимаются элементы согласно маркировке унифицированных типоразмеров:

- «1» – 2L 160/11
- «2» – 2L 110/8
- «3» – 2L 180/11
- «4» – 2L 70/5

РАСЧЕТ УЗЛОВ

Для стали С235 $R_{ин} = 360$ МПа: $R_{wz} = 0,45 \cdot 360 = 162$ МПа.

Сварка полуавтоматическая, соответственно $\beta_f = 0,7$ и $\beta_z = 1,0$.

$$\beta_f R_{wf} = 0,7 \cdot 180 = 126$$

$$\beta_z R_{wz} = 1,0 \cdot 162 = 162$$

$$\beta_f R_{wf} < \beta_z R_{wz}$$

Дальнейший расчет сварных соединений ведем по металлу шва:

$$\gamma_{wf} = 1,0; \gamma_{wz} = 1,0; \gamma_c = 1,0.$$

Расчет узла № 1:

– раскос «4-5» – 2L 180/11

$$N = 135,225 \text{ кН.}$$

$$N_o = N(1 - \alpha), N_{п} = N\alpha, \text{ где } \alpha = 0,3.$$

$$N_o = 135,225(1 - 0,3) = 94,657 \text{ кН;}$$

$$N_{п} = 135,225 \cdot 0,3 = 40,567 \text{ кН.}$$

Примем $k_f = 6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (толщина полки уголка 11 мм).

$$l_{w,o} = \frac{94,657 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,0780 \text{ м.}$$

$$l_{w,п} = \frac{40,567 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,037 \text{ м} = 40 \text{ мм;}$$

– стойка «3–4» – 2L 70/5

$N = 37,5$ кН.

$N_o = 37,5(1 - 0,3) = 26,25$ кН; $N_{\Pi} = 37,5 \cdot 0,3 = 11,25$ кН.

Примем $k_f = 4$ мм = $4 \cdot 10^{-3}$ м (толщина полки уголка 5 мм).

$$l_{w,o} = \frac{26,35 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,0340 \text{ м}.$$

$$l_{w,\Pi} = \frac{11,25 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,021 \text{ м} = 40 \text{ мм};$$

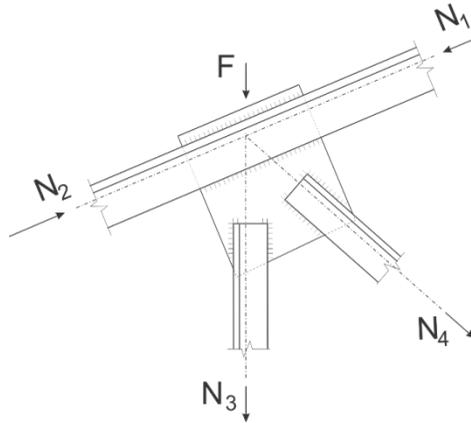


Рисунок 3 – Узел № 1

– расчет горизонтального шва в узле № 1

$l = 350$ мм.

$l_w = l - 10 \text{ мм} = 350 - 10 = 340 \text{ мм} = 0,34 \text{ м}.$

$$k_f = \frac{T}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 4 l_w \beta_f}.$$

Для ферм, имеющих наклон верхнего пояса, где при этом большее из усилий в поясе расположено слева от узла $T = \sqrt{F^2 + (N_2 - N_1)^2 - 2F(N_2 - N_1)\cos(90^\circ - \alpha)}$,

$$\alpha = \arctan\left(\frac{H}{0,5L}\right).$$

$H = 5$ м – высота фермы, $L = 5$ м – пролет фермы.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{5}{0,5 \cdot 30}\right) = 18,435^\circ;$$

$$N_1 = N_{D-5} = 355,725 \text{ кН};$$

$$N_2 = N_{C-3} = 474,375 \text{ кН};$$

$$F = 1P = 75,0 \text{ кН} \quad (P = 75,0 \text{ кН по заданию}).$$

$$T = \sqrt{75^2 + (474,375 - 355,725)^2} - 2 \cdot 75 \cdot (474,375 - 355,725) \cos(90^\circ - 18,435^\circ) = 118,637 \text{ кН}.$$

$$k_f = \frac{118,637 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4 \cdot 0,34 \cdot 0,7} = 6,923 \cdot 10^{-3} \text{ } \neq 7 \text{ мм}.$$

Примем $k_f = 6 \text{ мм}$.

Расчет узла № 2:

– раскос «2–3» – 2L 110/8

$$N = 118,575 \text{ кН}.$$

$$N_o = N(1 - \alpha), N_{\pi} = N\alpha, \text{ где } \alpha = 0,3.$$

$$N_o = 118,575(1 - 0,3) = 83,002 \text{ кН}; N_{\pi} = 118,575 \cdot 0,3 = 35,572 \text{ кН}.$$

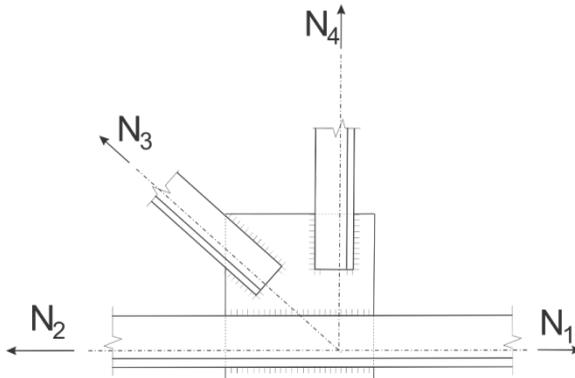
Примем $k_f = 6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (толщина полки уголка 8 мм).

$$l_{w,o} = \frac{83,002 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,0670 \text{ м}.$$

$$l_{w,\pi} = \frac{35,572 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0} + 10 \cdot 10^{-3} = 0,034 \text{ м} = 40 \text{ мм};$$

– стойка «3–4» – 2L 70/5

Расчет крепления данного элемента выполнен ранее и в результате принято: $k_f = 4 \text{ мм} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $l_{w,o} = 40 \text{ мм}$, $l_{w,\pi} = 40 \text{ мм}$.



– расчет горизонтального шва в узле № 2

$l = 380$ мм.

$$l_w = l - 10 \text{ мм} = 380 - 10 = 370 \text{ мм} = 0,37 \text{ м.}$$

Так как на пояс не действует вертикальная нагрузка, то расчет выполняем

по формуле $k_f = \frac{T}{R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c 4 l_w \beta_f}$.

$$N_1 = N_{4-I} = 450,0 \text{ кН}; \quad N_2 = N_{2-I} = 562,5 \text{ кН} .$$

$$N_2 - N_1 = 562,5 - 450,0 = 112,5$$

$$k_f = \frac{112,5 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4 \cdot 0,37 \cdot 0,7} = 6,033 \cdot 10^{-4} = 0,7 \text{ мм.}$$

Примем $k_f = 6$ мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА УЗЛОВ

Таблица 2 – Результаты расчета сварных соединений элементов решетки фермы

Узел	Стержень	Сечение	Усилие N , кН	По обуху			По палу		
				N_o , кН	k_f , мм	l_w , мм	N_o , кН	k_f , мм	l_w , мм
1	4–5	2L 125/10	135,225	94,657	6	80	40,567	6	40
	3–4	2L 80/6	37,5	26,25	4	40	11,25	4	40
	В. пояс	2L 125/10	118,637	118,637	6	340	118,637	6	340
2	2–3	2L 125/10	118,575	83,002	6	70	35,572	6	40
	3–4	2L 80/6	37,5	26,25	4	40	11,25	4	40
	Н. пояс	2L 110/8	112,5	112,5	6	370	112,5	6	370

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **СНиП II-23-81***. Стальные конструкции. – Введ. 1982-01-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 90 с.

2 **ГОСТ 103–2006**. Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент. – Введ. 2007-07-01. – Минск : Госстандарт РБ, 2018. – 16 с.

3 **ГОСТ 82–70**. Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент. – Введ. 1972-01-01. – М.: Стандартиформ, 2012. – 12 с.

4 **ГОСТ 19903–2015**. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. – Введ. 2017-05-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 16 с.

5 **ГОСТ 8509–93**. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. – Введ. 1996-01-01. – Минск : Госстандарт РБ, 2011. – 12 с.

Учебное издание

ДОВЫДЕНКО Денис Валерьевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

Учебно-методическое пособие

Редактор *А. А. Павлюченкова*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Корректор *Т. А. Пугач*

Компьютерный набор и верстка *Д. В. Довыденко* и *Т. И. Шляхтовой*

Подписано в печать 25.03.2020 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 2,98. Тираж 100 экз.
Зак. № 1249. Изд. № 13

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра строительных технологий и конструкций

Д. В. ДОВЫДЕНКО

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРОПИЛЬНОЙ
ФЕРМЫ**

Учебно-методическое пособие

Гомель 2020

62