

Л.П. АБАШЕВА, И. И. ЗУЕВА

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ
ПОКРЫТИЙ ИЗ ПАРНЫХ УГОЛКОВ**

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пермский государственный технический университет»

Л.П. Абашева, И. И. Зуева

**Проектирование и расчет стальных ферм
покрытий из парных уголков**

Методические указания
по курсу «Металлические конструкции»
для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 290300
«Промышленное и гражданское строительство»

Направление 653500 – Строительство
Специальность 290300 – Промышленное и гражданское строительство

Пермь 2008

УДК 624.014

A13

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Е.И.Новопашина

Абашева, Л.П.

A13 Проектирование и расчет стальных ферм покрытий из парных уголков: метод. указания / Л.П.Абашева, И.И.Зуева; Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2008. – 46 с.

Настоящие методические указания написаны в развитие методических указаний по выполнению курсового проекта «Проектирование металлического каркаса одноэтажного производственного здания» по дисциплине «Металлические конструкции». Указания содержат основные положения по расчету и конструированию легких стальных стропильных ферм из парных горячекатаных уголков. Предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного отделений.

© ГОУ ВПО «Пермский государственный
технический университет», 2008

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Стальные фермы получили широкое распространение во многих областях строительства: в покрытиях и перекрытиях промышленных и гражданских зданий, мостах, опорах линий электропередачи, транспортерных галереях, объектах связи и т.д. В зависимости от назначения, условий эксплуатации, архитектурных требований и схемы приложения нагрузок фермы могут иметь самую разнообразную конструктивную форму – от легких прутковых конструкций до тяжелых ферм, стержни которых komponуются из нескольких элементов крупных профилей.

До последнего времени в покрытиях и перекрытиях зданий широкое применение получили легкие фермы из парных горячекатаных уголков. Такие сечения имеют большой диапазон площадей, удобны для конструирования узлов на фасонках и прикрепления примыкающих к фермам конструкций (прогонов, кровельных панелей, связей и т. п.). Фермы из парных уголков можно применять в сочетании с легкими и тяжелыми ограждающими конструкциями при пролете зданий 18...42 м при строительстве во всех климатических районах. Однако из-за наличия большого количества элементов с различными типоразмерами такие фермы довольно трудоемки в изготовлении, материалоемки и могут применяться только в обоснованных случаях. Не допускается эксплуатация таких ферм в средне- и сильноагрессивной среде из-за наличия щелей между уголками, а также не следует применять их при внеузловых нагрузках, вызывающих значительный местный изгиб поясов.

В настоящих методических указаниях изложены основные положения по расчету и конструированию легких стропильных ферм из парных уголков.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Во втором курсовом проекте по металлическим конструкциям «Проектирование металлического каркаса одноэтажного производственного здания» исходные данные на проектирование стропильной фермы рекомендуется принимать по /10, табл. 1/ в соответствии с порядковым номером букв фамилии студента. В курсовом проекте выполняется расчет и конструирование фермы первого пролета (пролет А – Б, наибольший).

В курсовом проекте решаются следующие вопросы:

1. Компоновка стропильной фермы покрытия.
2. Статический расчет фермы.
3. Конструктивный расчет фермы.
4. Расчет и конструирование узлов фермы.
5. Разработка рабочих чертежей.

В дипломном проекте исходными данными на проектирование является технологическое задание.

КОМПОНОВКА СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ

На этапе компоновки необходимо выбрать статическую схему и очертание фермы, назначить вид решетки, определить генеральные размеры фермы.

В курсовом проекте предлагается принять типовые фермы с параллельными поясами: высота фермы на опоре по обушкам поясных уголков 3150 мм, уклон по верхнему поясу 1,5 % , решетка – треугольная с дополнительными стойками; размер панели верхнего пояса 3 м, сечения элементов фермы – из парных равнополочных горячекатаных уголков (серия 1.460.2 –10 /3/).

Членение ферм по длине на отправочные марки следует производить согласно «Инструкции по поставке стальных конструкций заводами металлоконструкций» (ВСН-141-80/ ММСС СССР): фермы пролетами 24 м и 30 м поставляются двумя отправочными марками, пролетом 36 м – двумя или тремя. Укрупнительные стыки в средних узлах для удобства сборки и изготовления необходимо проектировать так, чтобы правая и левая полуфермы были взаимозаменяемы.

Схемы типовых стропильных ферм из парных уголков представлены на рис. 1, 2.

В типовых решениях обычно предусмотрена узловая передача нагрузок, что дает возможность применять в покрытиях прогоны, стальные или железобетонные панели.

В курсовом проекте в зависимости от задания принимаются следующие системы покрытий:

– прогонные покрытия: по стропильным фермам с шагом 3 м устанавливают прогоны пролетом $l = 6$ или 12 м , на которые опирается стальной профилированный настил (теплые кровли) или стальной лист (холодные кровли);

– беспрогонные покрытия: на стропильные фермы укладывают стальные панели шириной 3 м , пролетом $l = 6$ или 12 м .

В курсовом проекте состав кровли и покрытия для беспрогонных кровель и кровель с прогонами можно принять по /6, 8/.

В дипломном проекте при компоновке фермы необходимо исходить из технологического задания и требований унификации и модулирования геометрических размеров ферм.

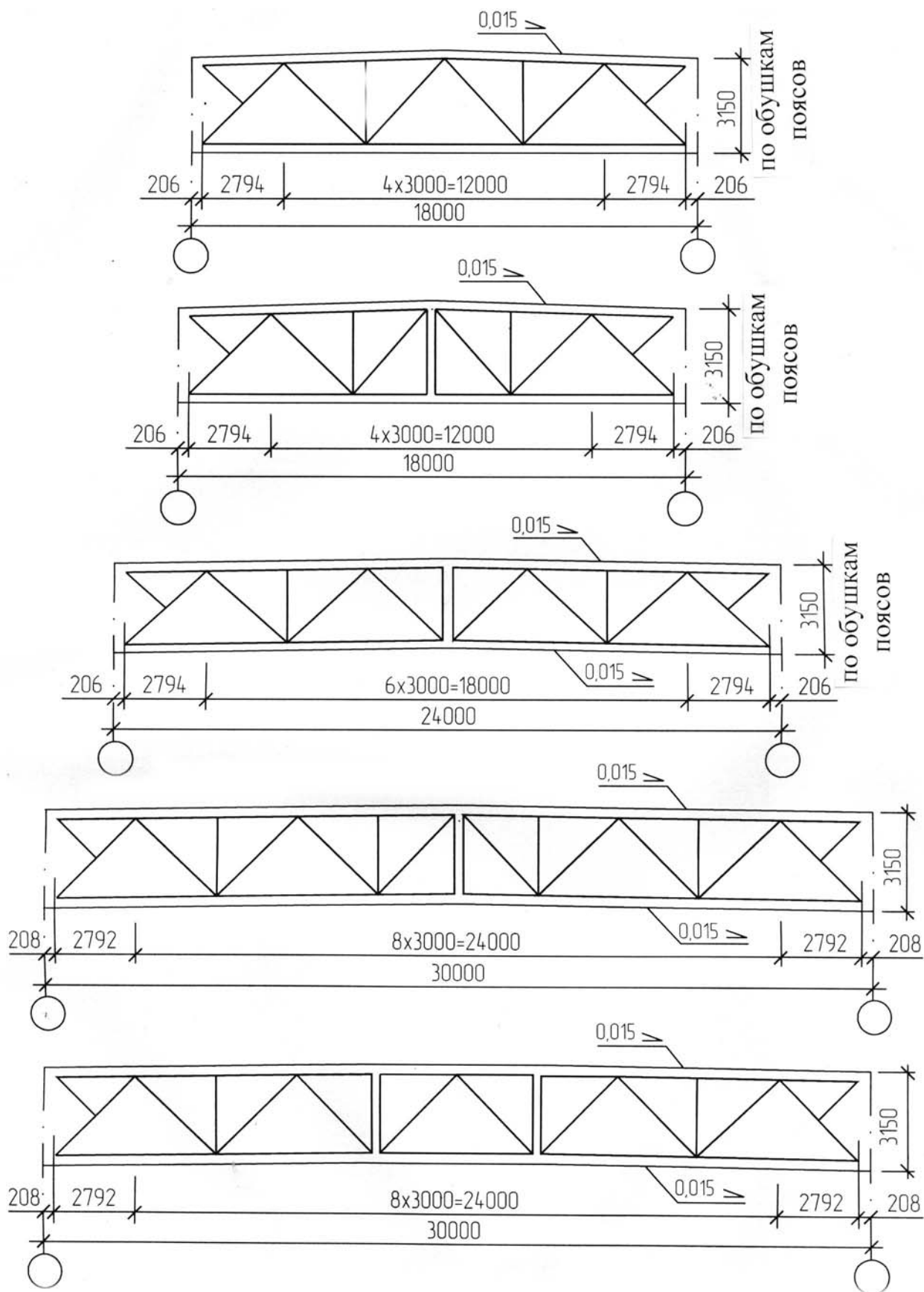


Рис. 1. Схемы типовых стропильных ферм из парных уголков пролетом 18...30 м

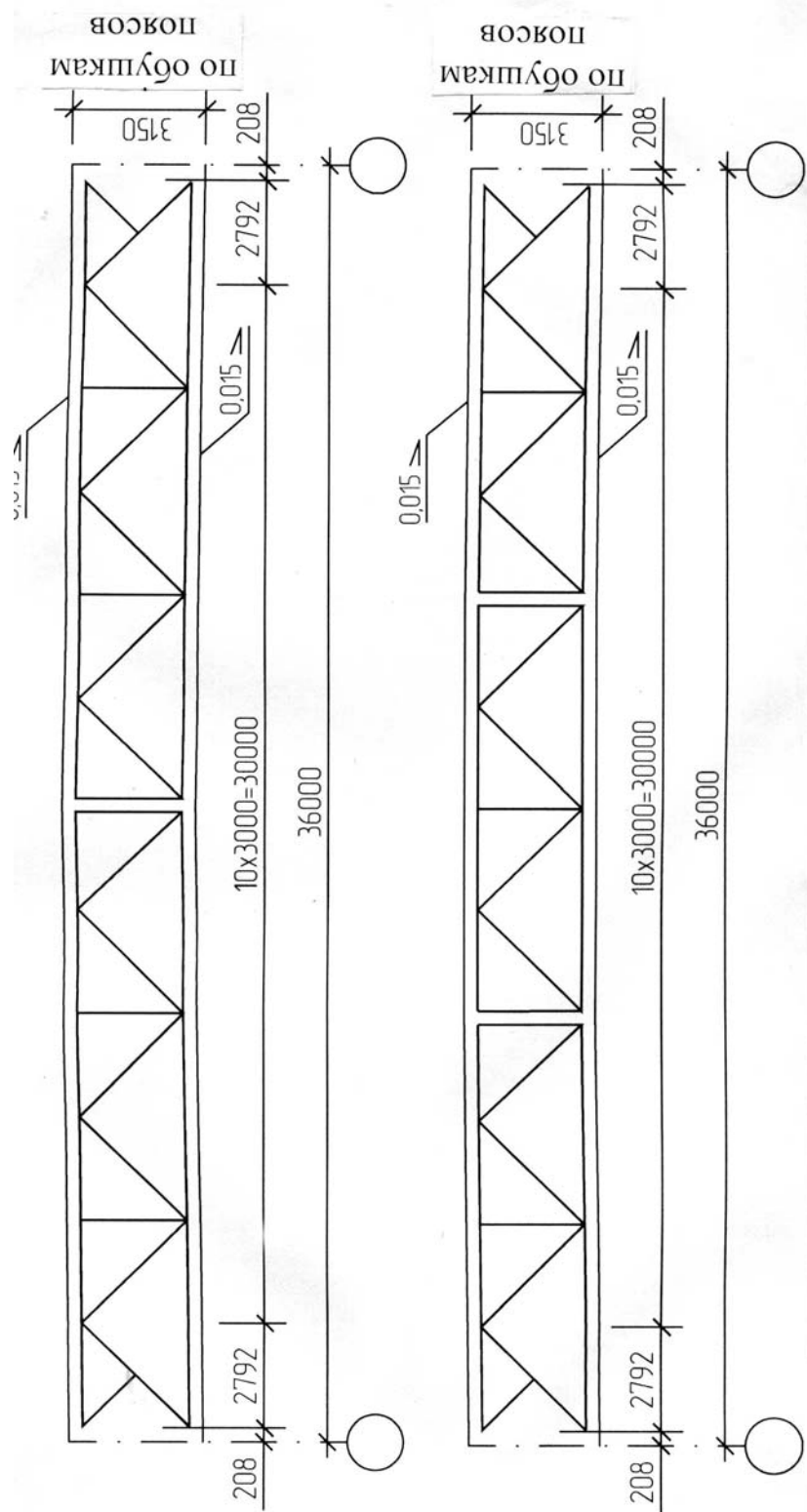


Рис. 2. Схемы типовых стропильных ферм из парных уголков пролетом 36 м

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФЕРМЫ

Расчет ферм из парных уголков производится в соответствии с требованиями, изложенными в СНиП /1, 2/.

Цель статического расчета заключается в определении максимальных усилий в элементах фермы, необходимых для подбора сечений элементов, расчета узлов и сопряжений.

Статический расчет стропильной фермы включает три этапа:

1. Сбор нагрузок.
2. Разработка расчетной схемы.

В курсовом проекте рассчитывается стропильная ферма первого пролета. Для определения влияния опорного момента на усилия в элементах фермы предлагается принять жесткое сопряжение ригеля первого пролета с колонной.

3. Определение расчетных усилий в элементах фермы.

Сбор нагрузок на ферму

На стропильную ферму покрытия могут действовать следующие нагрузки:

1. Постоянные – от веса ограждающих (кровля) и несущих (фермы, связи, прогоны, фонари) конструкций.

2. Кратковременные – атмосферные (снеговые, ветровые), технологические (от подвешенного подъемно-транспортного оборудования, подвесных коммуникаций, электроосветительных установок, вентиляторов, галерей) и др.

Основными при расчете стропильных ферм являются постоянная и снеговая нагрузки, поэтому в методических указаниях основное внимание уделено определению этих типов нагрузок.

Нагрузка от ветра вызывает в элементах фермы, как правило, усилия противоположного знака по сравнению с усилиями от веса покрытия и снега. Поэтому при расчете ферм ветровую нагрузку следует учитывать в том случае, если ее значение превышает вес покрытия (при легких кровлях и в районах с повышенной ветровой нагрузкой), а также при угле кровли более 30°. При расчете ферм ветровая нагрузка на фонарь не принимается во внимание, т.к. оказывает незначительное влияние. В случае крепления стеновых панелей к опорной стойке ветровую нагрузку прикладывают к поясам ферм.

В курсовом проекте при расчете стропильной фермы ветровая нагрузка не учитывается.

Определение нагрузок на стропильную ферму от подвешенного подъемно-транспортного оборудования рассмотрено в /8, 9/.

Постоянные нагрузки, действующие на ферму, складываются из веса кровли, стропильной фермы, связей по покрытию, прогонов и др.

Вес кровли определяется суммированием ее отдельных частей, которые приведены в справочных таблицах /6, табл.13.1; 8, табл. П 4.2; 10, табл. 3/. В таблицах приведен также вес металлических конструкций покрытий

(стропильных и подстропильных ферм, связей, прогонов, фонарей) на 1 м^2 горизонтальной поверхности. В курсовом проекте собственный вес фермы (кН/м^2) рекомендуется определять по формуле

$$q_{\text{с.ф}}^n = \left(\frac{q^n}{1000} + \frac{0,018}{B_{\text{ф}}} \right) \cdot \alpha_{\text{ф}} \cdot L_{\text{ф}},$$

где q^n – суммарная нормативная равномерно распределенная нагрузка от собственного веса покрытия и снега, технологического оборудования и др., кН/м^2 ; $B_{\text{ф}}$ – шаг стропильных ферм, м; $L_{\text{ф}}$ – пролет стропильной фермы, м; $\alpha_{\text{ф}}$ – коэффициент, зависящий от типа ригеля и стали: $\alpha_{\text{ф}} = 1,4$ – для малоуглеродистых сталей, $\alpha_{\text{ф}} = 1,3$ – для низколегированных сталей.

Сбор постоянных нагрузок рекомендуется проводить в табличной форме (табл.1).

Таблица 1

Постоянные нагрузки на ферму

Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м^2	γ_f	Расчетная нагрузка, кН/м^2

Узловая постоянная нагрузка на ферму (кН) собирается с грузовой площади, равной расстоянию между фермами, умноженному на размер панели верхнего пояса

$$F_{\text{пост}} = (q_{\text{ф}} + \frac{q_{\text{кр}}}{\cos \alpha}) \cdot B_{\text{ф}} \cdot d,$$

где $q_{\text{ф}}$ – вес фермы и связей, кН/м^2 ; $q_{\text{кр}}$ – вес кровли, кН/м^2 ; α – угол наклона верхнего пояса к горизонту, в курсовом проекте можно принять $\cos \alpha = 1$; d – длина панели верхнего пояса фермы.

Снеговая нагрузка зависит от снегового района, в котором проектируется здание, от профиля покрытия, наличия фонарей, количества пролетов, размера уклона кровли.

Расчетное значение снеговой нагрузки на 1 м^2 горизонтальной проекции покрытия определяется по формуле

$$S = S_g \mu,$$

где μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие /1, прилож. 3/; S_g – расчетное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, принимается по /1, табл. 4*/ в зависимости от снегового района:

Снеговой район /1, карта №1/	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$S_g, \text{кН/м}^2$	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6

Для зданий с односкатными и двускатными покрытиями без фонарей и перепадов высот при угле наклона кровли $\alpha \leq 25^\circ$ коэффициент $\mu = 1$, при $\alpha \geq 60^\circ$ $\mu = 0$, в интервале $25^\circ < \alpha < 60^\circ$ значения μ определяют линейной интерполяцией. Для двух- и многопролетных зданий с двускатными покрытиями без фонарей и перепадов высот при угле наклона кровли $\alpha \leq 15^\circ$ коэффициент $\mu = 1$.

Схемы распределения снеговой нагрузки принимаются по /1, прилож. 3/. В тех случаях, когда более неблагоприятные условия работы элементов фермы возникают при частичном загрузении, рассматривается схема снеговой нагрузки, действующей на части пролета. Так, при загрузении снегом одной половины фермы в средних раскосах может измениться знак усилия, и слабонагруженные растянутые элементы, имеющие большую гибкость, окажутся сжатыми.

Узловая расчетная снеговая нагрузка на ферму (кН) определяется по формуле

$$F_{сн} = S \cdot B_{ф} \cdot d ,$$

где $B_{ф}$ – шаг стропильных ферм, м; d – длина панели верхнего пояса фермы.

Разработка расчетной схемы

Расчетную схему стропильных ферм из парных уголков принимают в виде стержневой системы с шарнирными узловыми соединениями. При расчете легких ферм предполагается, что оси всех стержней прямолинейны, расположены в одной плоскости и пересекаются в узле в одной точке (в центре узла).

Если оси стержней фермы не пересекаются в одной точке, то элементы фермы следует рассчитывать с учетом соответствующих изгибающих моментов. Узловые моменты распределяют пропорционально погонной жесткости примыкающих к узлу элементов. Эксцентриситеты в узлах, за исключением опорных, допускается не учитывать, если они не превышают в фермах из парных уголков 5 % высоты пояса.

Моменты от смещения осей поясов ферм при изменении сечений допускается не учитывать, если это смещение не превышает 1,5 % высоты пояса.

На рис. 3 показан пример расчетной схемы стропильной фермы пролетом 30 м с нумерацией узлов и элементов.

Определение расчетных усилий в элементах фермы

Статический расчет фермы выполняется на ЭВМ (программы «Ферма», «Лира») для каждого вида загрузки отдельно.

Нагрузка, действующая на ферму, обычно прикладывается к узлам фермы, к которым прикрепляются элементы поперечной конструкции (например, прогоны кровли или подвесного потолка, железобетонные панели и т.д.), передающие нагрузку на ферму. Если нагрузка приложена непосредственно в панели, то в основной расчетной схеме она распределяется между ближайшими узлами, но дополнительно учитывается местный изгиб пояса от расположенной на нем нагрузки. Пояс фермы при этом рассматривают как неразрезную балку, опирающуюся на узлы фермы. Значения моментов в поясах приближенно можно определить по формулам:

– при сосредоточенной нагрузке $M = \frac{F \cdot d}{4} \cdot 0,9$, где коэффициент 0,9

учитывает неразрезность пояса; F – значение сосредоточенной нагрузки;

– при равномерно распределенной нагрузке: пролетный момент в крайней панели $M = \frac{\bar{q} \cdot d^2}{10}$; пролетный момент в промежуточной панели

$M = \frac{\bar{q} \cdot d^2}{12}$; опорный момент $M = \frac{\bar{q} \cdot d^2}{18}$, где \bar{q} – распределенная нагрузка на ферму; d – длина панели.

При жестком сопряжении фермы с колонной в элементах фермы возникают также усилия от рамных моментов на опорах. Усилия в элементах фермы от опорных моментов можно получить, заменив моменты парами горизонтальных сил: $H_1 = M_1 / h_{\text{ф}}^{\text{оп}}$, $H_2 = M_2 / h_{\text{ф}}^{\text{оп}}$, где $h_{\text{ф}}^{\text{оп}}$ – расстояние между осями поясов фермы на опоре.

В курсовом проекте рекомендуется провести расчет стропильной фермы вначале на единичную узловую нагрузку $F = 1$ кН и на единичные моменты слева $M_1 = -1$ кНм и справа $M_2 = -1$ кНм. На рис. 4, 5 показаны схемы нагрузок на ферму пролетом 30 м.

От каждого вида нагрузки по любой из указанных выше программ определяются усилия в стержнях фермы. Для контроля обязательно распечатываются исходные данные, расчетные схемы с действующими нагрузками и усилия в элементах фермы. Расчет фермы в курсовом проекте выполняется только после статического расчета рамы в целом.

Результаты статического расчета фермы сводят в таблицу расчетных усилий (табл. 2). В курсовом проекте усилия в элементах фермы от различных нагрузок получают умножением усилий от единичных нагрузок на величины этих нагрузок ($F_{\text{пост}}$, $F_{\text{сн}}$, M_1 , M_2). Значение опорного момента M_1 ($M_{\text{лев}}$) определяется по результатам расчета поперечной рамы каркаса здания из таблицы расчетных усилий /10, табл. 8/ при комбинации усилий $|M|_{\text{max}}$; $N_{\text{соотв}}$ (в курсовом проекте – для сечения 1–1 верхней части колонны). При этом, взяв

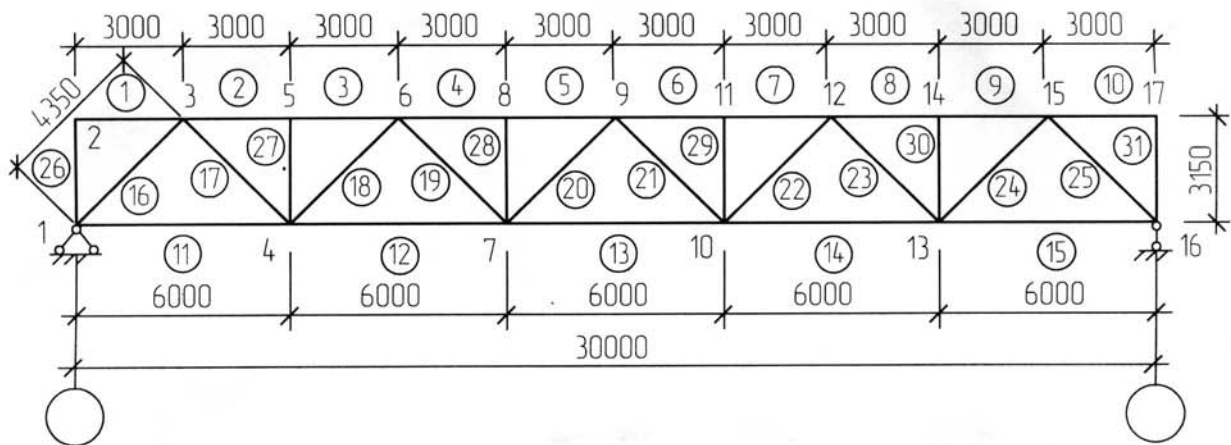


Рис. 3. Расчетная схема фермы пролетом 30 м

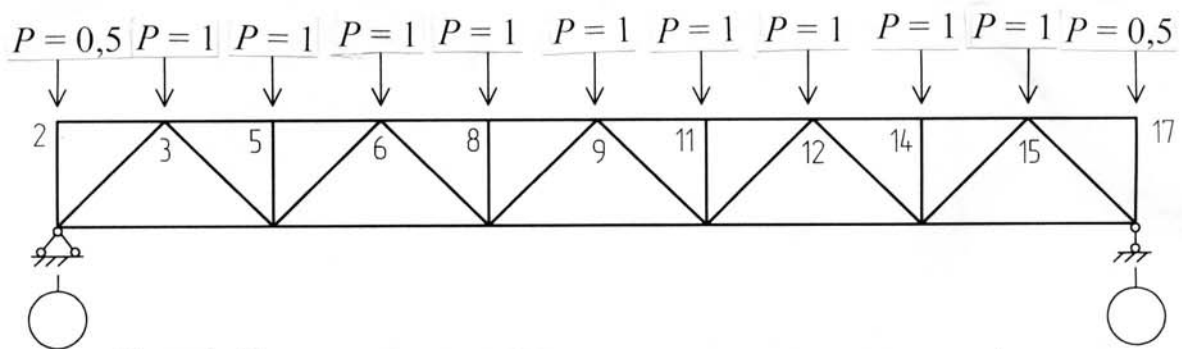


Рис. 4. Схема приложения вертикальных нагрузок на ферму

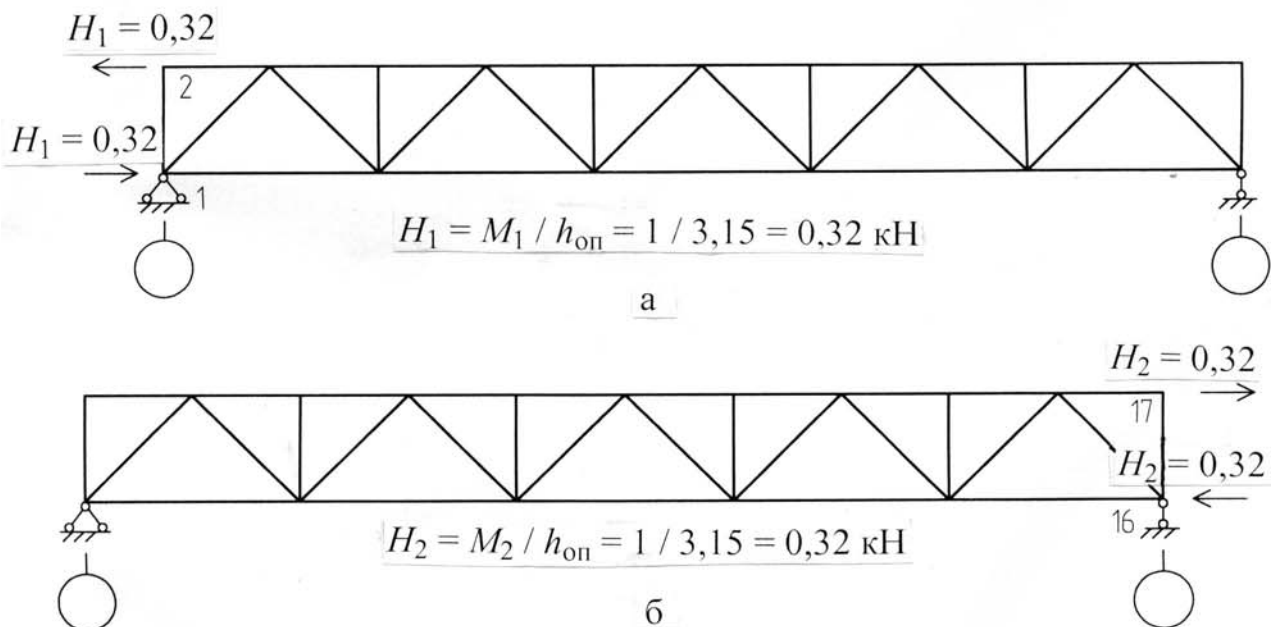


Рис. 5. Схемы приложения горизонтальных усилий от единичных опорных моментов слева (а) и справа (б)

Таблица 2

Расчетные усилия в элементах фермы

Элемент фермы	Номер элемента	Усилие от единичной нагрузки $F = 1$ кН	Усилие от постоянной нагрузки $F_{\text{пост}}$, кН	Усилие от снеговой нагрузки $F_{\text{сн}}$, кН		Усилие от опорных моментов M , кНм				Номер загрузки	Расчетное усилие N , кН
				$\psi = 1$	$\psi = 0,9$	$M_1 = -1$	$M_2 = -1$	$M_1 = \dots$	$M_2 = \dots$		
Верхний пояс	1										
	2										
	3										
	...										
Нижний пояс											
Раскосы											
Стойки											

момент для левой опоры, необходимо определить по эпюрам изгибающих моментов, построенных для поперечной рамы, момент для правой опоры $M_2(M_{пр})$. Момент $M_2(M_{пр})$ находится при той же комбинации нагрузок, что и $M_{лев}$, независимо от знака моментов. При этом, если кратковременных нагрузок больше чем одна, то моменты от этих нагрузок умножаются на коэффициент сочетания $\psi = 0,9$.

Для подбора сечений элементов ферм необходимо получить для каждого элемента максимально возможное усилие, т.е. найти наиболее невыгодное сочетание (табл. 1). Расчетные усилия в элементах фермы получают сложением усилий, определенных при расчете на вертикальную нагрузку ($F_{пост}$, $F_{сн}$) и усилий от опорных моментов. При этом соблюдают следующие правила:

1. Если знаки усилий от вертикальной нагрузки и моментов разные и усилия от моментов меньше по абсолютной величине, то за расчетное принимают усилие только от вертикальной нагрузки.

2. Если знаки усилий от вертикальной нагрузки и моментов разные, и усилия от моментов больше усилий от вертикальной нагрузки, то стержень должен быть проверен также на алгебраическую сумму этих усилий.

3. Если усилия от вертикальной нагрузки и опорных моментов одного знака, то за расчетное усилие принимают их сумму.

Если при составлении сочетаний учитывается опорный момент, то усилие от снеговой нагрузки принимается с коэффициентом сочетаний $\psi = 0,9$.

Для проверки нижнего пояса фермы на сжатие необходимо оценить комбинацию нагрузок, способных привести к появлению сжимающих усилий в крайней панели нижнего пояса.

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ФЕРМЫ

Конструктивный расчет стропильной фермы включает три этапа:

1. Определение расчетных длин элементов фермы.
2. Подбор сечений элементов фермы.
3. Проектирование узлов фермы.

Расчетные длины элементов фермы

Расчетные длины элементов ферм из парных уголков в плоскости l_{efx} и из плоскости фермы l_{efy} определяются в соответствии с табл. 3 или /2, табл. 11/ (за исключением перекрестной решетки). Так как форма потери устойчивости поясов из плоскости фермы зависит от того, в каких точках пояса закреплены от смещения, то необходимо к моменту подбора сечений элементов фермы

запроектировать системы вертикальных связей по фермам и связей по верхним и нижним поясам ферм /3, 8/.

Расчетные длины заносят в таблицу подбора сечений элементов ферм (табл. 4).

Таблица 3

Расчетные длины элементов плоских ферм из парных уголков

Направление потери устойчивости	Расчетная длина l_{ef}		
	поясов	опорных раскосов и опорных стоек	прочих элементов решетки
1. В плоскости фермы	l	l	$0,8 l$
2. Из плоскости фермы	l_1	l_1	l_1

Примечание: l – геометрическая длина элемента (расстояние между центрами узлов); l_1 – расстояние между центрами узлов, закрепленных от смещения из плоскости фермы (поясами ферм, связями, плитами покрытия, прогонами и т.д.).

Подбор сечений элементов фермы

После определения расчетных усилий производится подбор сечений элементов фермы. Компонуя сечения стержней ферм, необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. Сечения поясов следует выполнять постоянными или изменять не более одного раза в фермах пролетом 24 м и более, при меньших пролетах сечение поясов изменять не рекомендуется.

2. Не следует использовать в одной конструкции фермы сечения стержней одного размера, но разных толщин или марок сталей.

3. Для удобства комплектования металла количество калибров профилей, принимаемых в ферме, ограничивается: при пролете фермы $L \leq 36$ м рекомендуется принимать 5 - 6 различных калибров, при пролете $L > 36$ м – 6...8.

4. Для предотвращения повреждения стержней при транспортировке и монтаже, а также из условия обеспечения качества сварки и повышения коррозионной стойкости, минимальный профиль уголков для ферм назначают: равнополочных 50 x 5 мм, неравнополочных 63 x 40 x 5 мм.

5. Для снижения расхода стали целесообразно наиболее нагруженные элементы ферм (пояса, опорные раскосы) проектировать из стали повышенной прочности, а прочие элементы – из обычной стали. Стержни легких ферм работают в относительно благоприятных условиях, поэтому для них следует

Таблица 4

Подбор сечений элементов ферм

Элемент фермы	Номер элемента	Расчетное усилие N , кН	Сечение	A , см ²	Расчетные длины, см				Радиусы инерции, см		Гибкость		Φ_{min}	γ_c	α	$[\lambda]$	Напряжение кН/см ²		Сталь	
					l_{geom}	l_{efx}	l_{efy}	i_x	i_y	λ_x	λ_y	σ					$R_{y\gamma_c}$			
Верхний пояс	1																			
	2																			
	3																			
	...																			
Нижний пояс																				
Раскосы																				
Стойки																				

применять стали полуспокойной выплавки. Фасонки ферм работают в сложных условиях (наличие сварочных напряжений, концентрация напряжений вблизи швов, плоское поле растягивающих напряжений), что повышает опасность хрупкого разрушения и требует применения более качественной спокойной стали. В курсовом проекте марки сталей элементов фермы принимаются по заданию и при необходимости уточняются преподавателем.

Подбор сечений элементов ферм удобно оформлять в табличной форме (табл. 4).

Различают следующие виды напряженного состояния элементов ферм:

1. *Центрально-сжатые элементы.* При подборе сечения центрально-сжатых элементов предварительно задаются гибкостью: для поясов и опорных раскосов $\lambda_3 = 60 \dots 80$, для решетки $\lambda_3 = 100 \dots 120$. По заданной гибкости по /2, табл. 72/ определяют коэффициент продольного изгиба φ_3 (в первом приближении можно задаться непосредственно $\varphi_3 = 0,7 \dots 0,8$ для поясов и $\varphi_3 = 0,4 \dots 0,6$ для элементов решетки). Требуемую площадь сечения находят из условия устойчивости

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi_3 R_y \gamma_c},$$

где R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести /2, табл. 51/; γ_c – коэффициент условий работы конструкций /2, табл. 6/.

По требуемой площади $A_{\text{тр}}$ подбирают по сортаменту сечение из двух уголков и определяют его фактические геометрические характеристики $A = 2A_L$, i_x , i_y . В прилож. 1 приведена выборка из сортамента равнополочных уголков.

Радиус инерции i_y для сечения из парных уголков выписывают из сортамента в зависимости от толщины фасонки между уголками. Толщина фасонки зависит от наибольшего усилия в элементах решетки фермы (как правило, в опорном раскосе):

максимальное усилие в стержнях решетки, кН	до 150	151... 250	251... 400	401... 600	601... 1000	1001... 1400	1401... 1800	1801... 2200
толщина фасонки, мм	6	8	10	12	14	16	18	20

В пределах отправочного элемента рекомендуется принимать фасонки одинаковой толщины. В фермах больших пролетов при значительной разнице усилий в стержнях решетки допускается применять фасонки двух толщин в одном отправочном элементе с разностью толщин фасонки в двух смежных узлах не более 2 мм.

Для выбранного сечения определяют гибкости и сравнивают с предельным значением:

$$\lambda_x = \frac{l_{efx}}{i_x} \leq [\lambda] \quad ; \quad \lambda_y = \frac{l_{efy}}{i_y} \leq [\lambda] \quad ,$$

где $[\lambda]$ – предельная гибкость (табл. 5). По большей гибкости уточняют коэффициент продольного изгиба φ по /2, табл. 72/ и проверяют устойчивость элемента по формуле

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

Если гибкость стержня предварительно была задана неправильно и проверка показала перенапряжение или значительное (больше 5...10 %) недонапряжение, то проводят корректировку сечения, принимая промежуточное значение гибкости между предварительно заданным и фактическим значением.

Для верхнего пояса фермы подбор сечения рекомендуется начинать с наиболее нагруженной панели. Если гибкость верхнего пояса превышает предельную, то можно либо увеличить сечение пояса, либо изменить схему связей по верхним поясам ферм.

Таблица 5

Предельные гибкости элементов плоских ферм из парных уголков

Наименование элементов и вид напряженного состояния	Предельная гибкость при работе на		
	статическую нагрузку	динамическую нагрузку	нагрузку от кранов режимов работы 7К, 8К
1. Пояса, опорные раскосы и стойки, передающие опорные реакции и работающие на а) растяжение б) сжатие	400	250	250
	180 – 60α		
2. Прочие элементы решетки, работающие на а) растяжение б) сжатие	400	350	300
	210 – 60α		

Примечание: $\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c}$ – коэффициент, принимаемый не менее 0,5.

2. *Центрально-растянутые элементы.* Требуемую площадь сечения центрально-растянутого элемента определяют по формуле

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c} .$$

Затем по сортаменту по $A_{\text{тр}}$ подбирают сечение из двух уголков и определяют его фактические геометрические характеристики $A = 2A_{\perp}$, i_x , i_y . Для подобранного сечения определяют гибкости и сравнивают с предельными:

$$\lambda_x = \frac{l_{efx}}{i_x} \leq [\lambda] \quad ; \quad \lambda_y = \frac{l_{efy}}{i_y} \leq [\lambda] .$$

Прочность принятого сечения проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c .$$

Для нижнего растянутого пояса фермы подбор сечения рекомендуется начинать с наиболее нагруженной панели. Если гибкость нижнего пояса превышает предельную, то можно изменить схему связей по нижним поясам ферм постановкой дополнительных растяжек.

3. *Внецентренно сжатые элементы.* Предварительно задаются гибкостью элемента $\lambda_x^3 = 60 \dots 80$ и определяют отвечающие этой гибкости радиус инерции сечения $i_x^{\text{тр}} = l_{efy} / \lambda_x^3$, требуемую высоту сечения $h_{\text{тр}} = i_x^{\text{тр}} / \alpha_x$ и ядровое расстояние $\rho_x^{\text{тр}} = (i_x^{\text{тр}})^2 / z$, где для тавровых сечений из парных равнополочных уголков можно принять $\alpha_x = 0,3$ и $z = 0,3h_{\text{тр}}$ (z – расстояние от центра тяжести до наиболее сжатого края сечения).

Определяют относительный и приведенный эксцентриситеты:

$$m_x^{\text{тр}} = \frac{M_x}{N \cdot e_x^{\text{тр}}} \quad ; \quad m_{ef}^{\text{тр}} = m_x^{\text{тр}} \cdot \eta ,$$

где η – коэффициент влияния формы сечения /2, табл. 73/.

По условной гибкости $\bar{\lambda}_x^3 = \lambda_x^3 \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ и приведенному эксцентриситету $m_{ef}^{\text{тр}}$ по /2, табл. 74/ определяют коэффициент снижения несущей способности при внецентренном сжатии φ_e^3 и находят требуемую площадь сечения

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi_e^3 \cdot R_y \cdot \gamma_c} .$$

По требуемой площади $A_{\text{тр}}$ подбирают по сортаменту сечение из двух уголков и определяют его фактические геометрические характеристики $A = 2A_{\perp}$, i_x , i_y . Для подобранного сечения уточняют следующие величины:

$$\lambda_x = \frac{l_{efx}}{i_x} < [\lambda] \quad ; \quad \bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} \quad ; \quad m_x = \frac{M_x \cdot A \cdot z}{N \cdot J_x} \quad ; \quad m_{ef} = m_x \cdot \eta .$$

По точно вычисленным характеристикам $\overline{\lambda}_x$ и m_{ef} по /2, табл. 74/ принимают коэффициент φ_e и проверяют устойчивость стержня в плоскости действия момента по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} \leq R_y \gamma_c .$$

Расчет на устойчивость при $m_x > 20$ не требуется.

Устойчивость стержня из плоскости действия момента проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot c \cdot A} \leq R_y \gamma_c ,$$

где c – коэффициент, учитывающий изгибно-крутильную форму потери устойчивости, принимается в соответствии с /2, п. 5.31/; φ_y – коэффициент продольного изгиба относительно оси $y - y$, определяют по /2, табл. 72/ по гибкости стержня $\lambda_y = \frac{l_{efy}}{i_y} < [\lambda]$.

4. *Внецентренно растянутые элементы.* Подбор сечения внецентренно растянутых элементов ферм можно проводить как центрально-растянутых стержней. Прочность подобранного сечения проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_n} \leq R_y \gamma_c .$$

5. *Подбор сечений элементов ферм по предельной гибкости.* Ряд стержней легких ферм имеют незначительные усилия и, следовательно, небольшие напряжения. Сечения этих стержней подбирают по предельной гибкости. Зная расчетную длину l_{efx} и l_{efy} и значение предельной гибкости $[\lambda]$ (см. табл. 5), определяют требуемые радиусы инерции $i_x^{тр} = \frac{l_{efx}}{[\lambda]}$ и $i_y^{тр} = \frac{l_{efy}}{[\lambda]}$ и по сортаменту подбирают сечение, имеющее наименьшую площадь.

Особенности конструирования ферм из парных уголков. Конструирование фермы следует начинать с вычерчивания осевых линий элементов, сходящихся в узлах. Осевые линии стержней должны совпадать с центрами тяжести сечений. Для уголков привязки осей необходимо округлить до 5 мм. В фермах с болтовыми соединениями оси следует привязать по рискам.

При наличии расцентровки стержней в узлах, необходимо при расчете фермы учесть дополнительный узловой момент.

В том случае, когда сечение пояса по длине фермы меняется, в геометрической схеме допускается выполнять центрирование элементов пояса по средней осевой линии. Для удобства опирания примыкающих элементов (прогонов, плит покрытия, настилов) верхнюю грань пояса сохраняют на одном уровне. Если при этом взаимное смещение осей центров тяжести превышает $0,015h$ (h – меньшая высота сечения пояса), то при расчете необходимо учесть дополнительный момент.

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 $40 i$ для сжатых элементов и $80 i$ для растянутых (i – радиус инерции одного уголка относительно оси, параллельной прокладке). 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.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ УЗЛОВ ФЕРМЫ

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

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 /2, табл. 55*/.

В курсовом проекте необходимо рассчитать все узлы для отправочного элемента фермы, включая узлы опирания стропильной фермы на колонну и монтажные стыки отправочных элементов ферм. Расчет опорного и монтажного узлов выполняют с вычерчиванием этих узлов в пояснительной записке, для остальных узлов проводить расчет в записке одновременно вычерчивая узлы на чертеже.

Характерные решения конструкции узлов стропильных ферм из парных уголков приведены на рис. 6 - 11.

В сварных фермах стержни решетки прикрепляют к фасонкам фланговыми швами (см. рис. 6), концы швов для снижения концентрации напряжений выводят на торцы стержней на 20 мм. Действующее в элементе усилие распределяется между швами по обушку и перу уголка обратно пропорционально их расстояниям до оси стержня:

$$N_{об} = \frac{N \cdot (b - z_o)}{b} = \alpha_{об} N; \quad N_{п} = \frac{N \cdot z_o}{b} = \alpha_{п} N,$$

где b – ширина полки уголка; z_o – расстояние от центра тяжести уголка до его обушки.

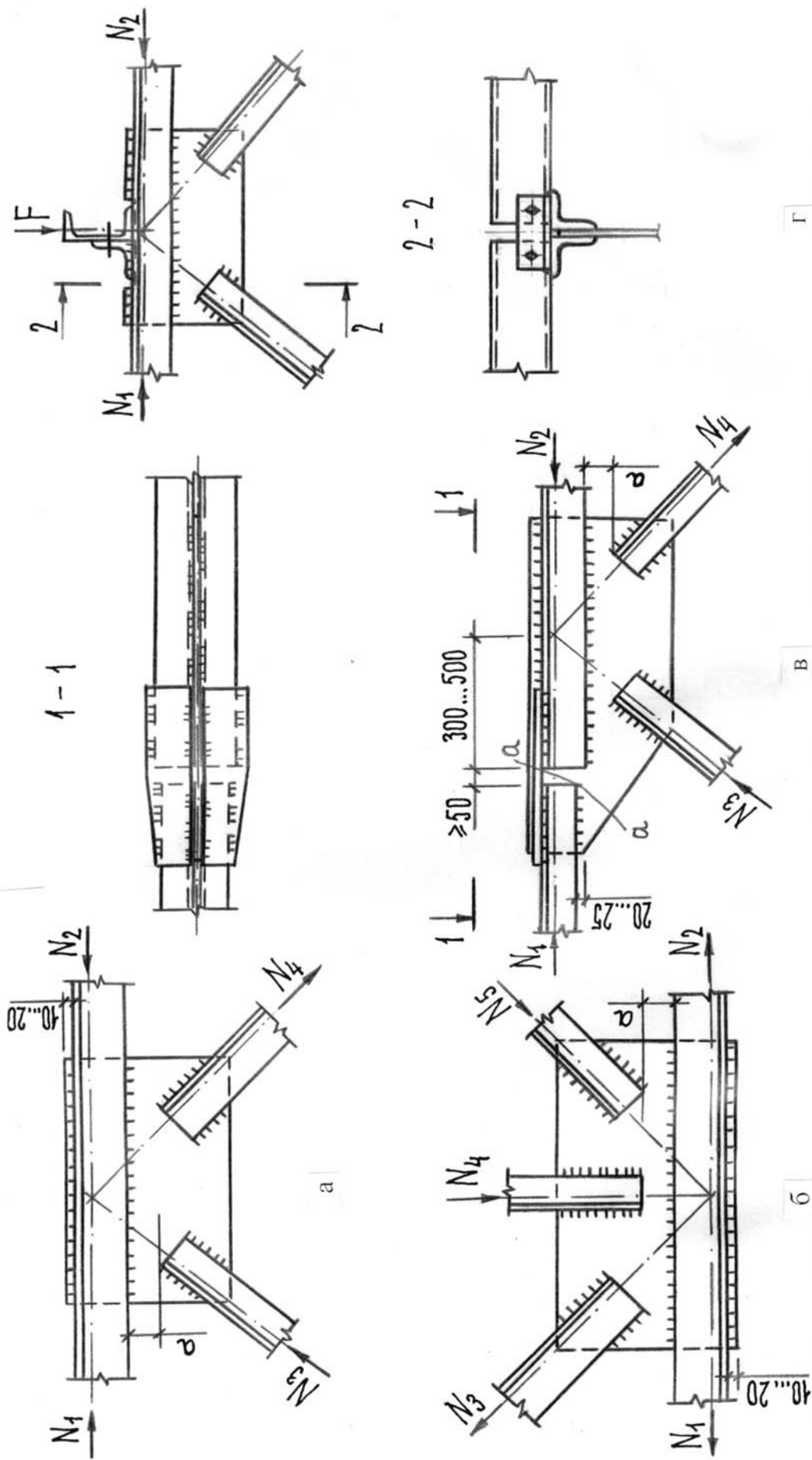


Рис. 6. Узлы ферм из парных уголков: а, б — промежуточные узлы; в — с листовыми накладками; г — опирание прогонов

Для равнополочных уголков можно принять $\alpha_{об} = 0,7$ и $\alpha_{п} = 0,3$; для неравнополочных, прикрепляемых меньшей полкой, $\alpha_{об} = 0,75$, $\alpha_{п} = 0,25$ и $\alpha_{об} = 0,65$, $\alpha_{п} = 0,35$ для прикрепляемых большей полкой.

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

на обушке

$$l_w^{об} = \frac{N_{об}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1...2 \text{ см};$$

на перу

$$l_w^{п} = \frac{N_{п}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1...2 \text{ см},$$

где n – количество уголков (швов); β_f – коэффициент проплавления по металлу шва /2, табл. 34/; k_f – катет сварного шва; R_{wf} – расчетное сопротивление углового шва по металлу шва 2, табл. 56/; γ_{wf} – коэффициент условий работы сварного шва 2, п.11.2*/; 1 ... 2 см – дается на непровар.

Минимальное значение катета шва k_f^{min} принимается по /2, табл. 38/, максимальное значение катета шва по обушке уголка $k_f^{max} = 1,2 \cdot t$, 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:

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

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.

Аналогичный расчет выполняют по металлу границы сплавления (β_z , R_{wz} , γ_{wz}).

Полученные расчетом длины сварных швов округляют в большую сторону до 10 мм. Минимальную длину сварного шва следует принимать l_w^{min} следует принимать равной 60 мм, максимальную $l_w^{max} = 85 \cdot \beta_f \cdot k_f$. Результаты расчеты швов сводят в таблицу (табл. 6).

Таблица 6

Результаты расчета сварных швов в узлах фермы

Узел	Номер стержня	Сечение	Расчетное усилие N , кН	Шов по обушке			Шов по перу		
				$N_{об}$, кН	k_f , мм	l_w , см	$N_{п}$, кН	k_f , мм	l_w , см

Швы, прикрепляющие фасонку к поясу, при отсутствии узловых нагрузок рассчитывают на разность усилий в смежных панелях пояса (см. рис. 6, а, б):

$$N = N_2 - N_1 .$$

Если к узлу приложена сосредоточенная нагрузка F (перпендикулярная поясу), то швы, прикрепляющие фасонку к поясу, рассчитывают на совместное действие продольного усилия (или разницы усилий в поясах) и сосредоточенной нагрузки (см. рис. 6, г). Требуемую площадь шва в этом случае определяют по формуле

$$A_{wf} = \Sigma \beta_f \cdot k_f \cdot l_w = \frac{\sqrt{(N_2 - N_1)^2 + F^2}}{R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} .$$

Фасонки прикреплять к поясу рекомендуется сплошными швами минимальной толщины. По возможности фасонки выпускают за обушки поясных уголков на 10...20 мм. В местах опирания на верхний пояс прогонов или плит покрытия 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 $a = 6 \cdot t - 20$ мм (t – толщина фасонки), но не более 80 мм и не менее 50 мм. Расстояние между сварными швами решетки принимается равным не менее 50 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 обрезков. Целесообразно унифицировать размеры фасонки и иметь на ферму не более одного-двух типоразмеров. Высоту фасонки рекомендуется принимать в соответствии со стандартным размером ширины листа.

Для крепления прогонов к верхнему поясу фермы приваривают уголок с отверстиями для болтов (см. рис. 6, г).

В местах опирания крупнопанельных плит верхний пояс фермы для предотвращения отгиба полок усиливают листовыми накладками $t = 12$ мм, если толщина поясных уголков менее 10 мм при шаге ферм 6 м и менее 14 мм при шаге ферм 12 м. Накладки приваривают вдоль кромок полок поясных уголков.

В узлах ферм, где проектируется изменение сечения поясов, пояса следует перекрывать накладками, не включая, как правило в работу стыка фасонку, работающую на перераспределение усилий между стержнями, примыкающими к узлу. Можно фасонку включать в работу стыка, если продолжить ее за узел фермы (см. рис. 6, в). Стык поясов можно перекрывать листовыми или уголковыми накладками со срезанными полками и обработанными обушками

/6, 7/. Решение с листовыми накладками (рис. 7, в) является более универсальным. Для облегчения работы фасонки стык пояса желательно вынести за пределы узла на 300...500 мм от центра узла в сторону меньшего усилия. Между торцами стыкуемых элементов поясов, перекрываемых накладками, оставляется зазор не менее 50 мм.

Требуемая площадь сечения стыковой накладки при поясе из равнополочных уголков составляет

$$A_{\text{н тр}} = \frac{0,7 \cdot N_{\text{ст}}}{2 \cdot R_{\text{уГс}}},$$

при этом площадь сечения накладки принимается не менее площади выступающей полки меньшего уголка. Назначив ширину накладки, можно определить ее толщину. Рекомендуется толщину накладки принимать не менее толщины фасонки.

Работа узла с прерванными поясами достаточно сложна, т.к. центр тяжести сечения в месте стыка не совпадает с центром тяжести сечения пояса, и узел работает на внецентренное растяжение или сжатие. Существует упрощенный прием расчета таких сечений: прочность ослабленного сечения по линии $a - a$ (см. рис. 6, в) можно проверить по формуле

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{N_{\text{р}}}{A_{\text{усл}}} \leq R_{\text{уГс}},$$

где $\sigma_{\text{н}}$ – напряжение в накладке; $A_{\text{усл}}$ – условная расчетная площадь, равная сумме площадей накладок и части площади фасонки высотой $2b$, $A_{\text{усл}} = \Sigma A_{\text{н}} + t_{\text{ф}} \cdot 2b$, где b – ширина полки прикрепляемого уголка, $t_{\text{ф}}$ – толщина фасонки; $N_{\text{р}}$ – расчетное усилие в элементе, которое вследствие некоторой нечеткости работы узла рекомендуется принимать на 20 % больше действительного, т.е. $N_{\text{р}} = 1,2N$; N – усилие в стыке, определяемое путем проекции усилий в узле на ось пояса, при $i = 1,5$ % уклоном пояса ввиду малости можно пренебречь.

Швы, прикрепляющие листовую накладку к поясам, рассчитывают на усилие в накладке:

$$N_{\text{н}} = A_{\text{н}} \cdot \sigma_{\text{н}},$$

а швы, прикрепляющие уголки к фасонкам, – на расчетные усилия в поясах за вычетом усилия, передаваемого с уголка на уголок накладкой: $1,2N - 2N_{\text{н}}$, но не менее $1,2N / 2$.

В прилож. 2 представлен упрощенный и точный способы расчетов узлов со стыком поясов.

Опорные узлы ферм. Конструкция опорных узлов ферм зависит от вида опор (металлические или железобетонные колонны, кирпичные стены и т.д.) и способа сопряжения ферм с колоннами (жесткое или шарнирное).

При свободном опирании ферм на нижележащую конструкцию возможное решение опорного узла показано на рис. 7, а. Опорное давление фермы F_R

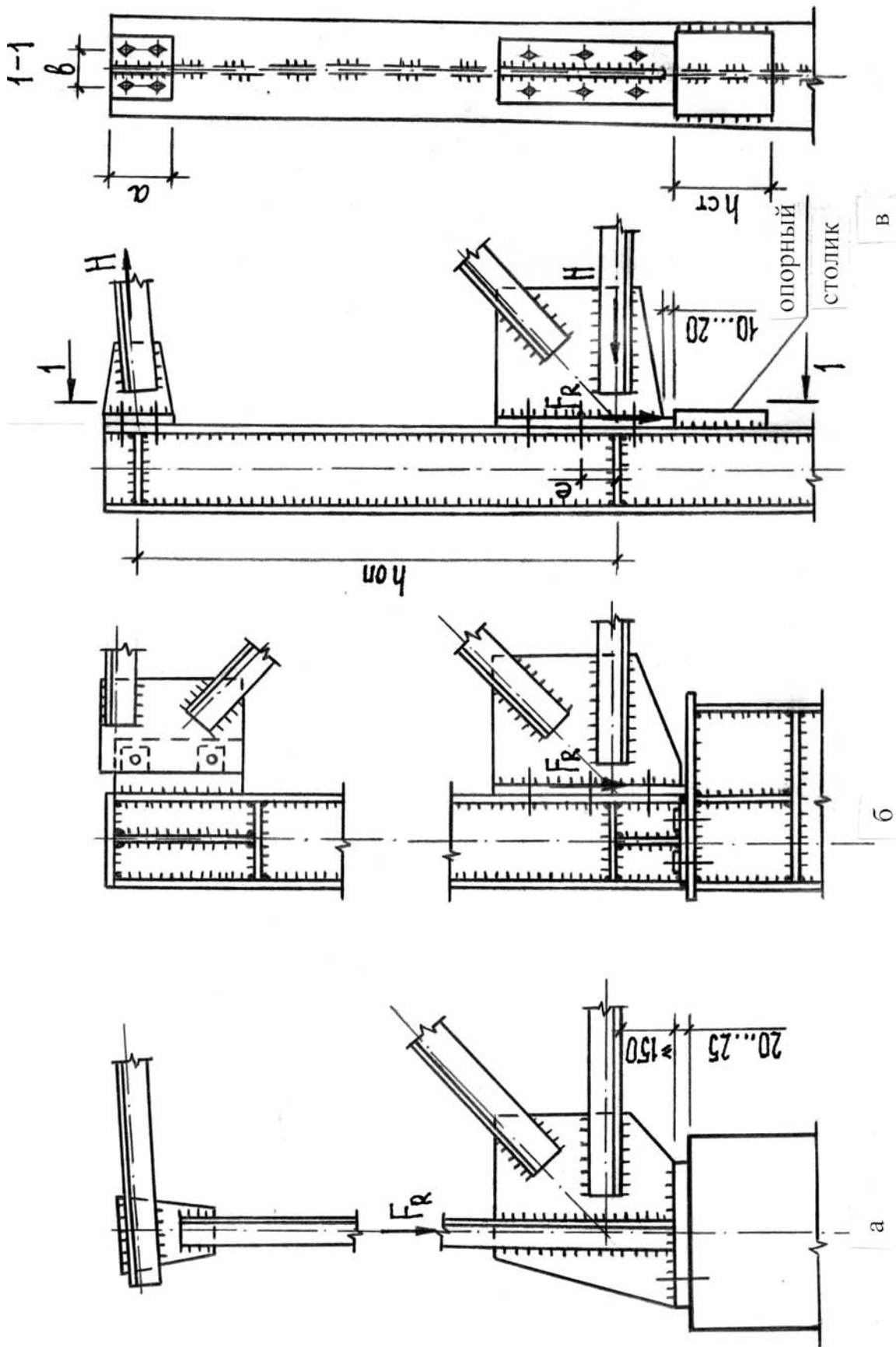


Рис. 7. Опорные узлы ферм: а – свободное опирание; б – опирание фермы на колонну сверху; в – примыкание фермы к колонне сбоку

через плиту передается на опору. Требуемую площадь плиты определяют по несущей способности материала опоры:

$$A_{\text{пл}}^{\text{тр}} = \frac{F_R}{R_{\text{оп}}},$$

где $R_{\text{оп}}$ – расчетное сопротивление материала опоры на сжатие.

Плита работает на изгиб от отпора материала опоры, поэтому ее толщину определяют так же как в базах колонн. При шарнирном опирании ферм на уровне нижнего пояса толщину опорной плиты рекомендуется принимать не менее 20...25 мм, диаметр анкерных болтов для крепления плиты – 20...24 мм, диаметр отверстий под болты – 40...50 мм. Это дает возможность устранить неточность закладки анкеров при монтаже.

Швы приварки фасонки и опорной стойки к плите рассчитывают на опорное давление F_R . Если торец фасонки и опорной плиты стойки фрезеруются, то усилие на плиту передается за счет плотного касания (смятия) и швы являются конструктивными.

Аналогично конструируют опорный узел при опирании фермы в уровне верхнего пояса /7/.

При шарнирном сопряжении наиболее простым является узел опирания фермы на колонну сверху с использованием дополнительной стойки (надколонника) /3, 6, 7/. Опорное давление фермы F_R передается с опорного фланца фермы через строганные или фрезерованные поверхности на опорную плиту колонны (рис. 7, б). Опорный фланец должен выступать на 10...20 мм ниже фасонки опорного узла. Площадь торца фланца определяют из условия смятия:

$$A_{\text{фл}}^{\text{тр}} \geq \frac{F_R}{R_p},$$

где R_p – расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки).

Верхний пояс болтами грубой или нормальной точности прикрепляют к фасонке надколонника. Для того чтобы узел не мог воспринять усилия от опорного момента и обеспечивал шарнирность сопряжения, отверстия в фасонках делают на 5...6 мм больше диаметра болтов.

При жестком сопряжении стропильная ферма примыкает к колонне сбоку (рис. 7, в) и устанавливается на опорный столик, а усилия от опорного момента воспринимаются фланцевым соединением на болтах или сварными узлами.

В курсовом проекте для расчета опорных узлов выбирают из таблицы основных сочетаний нагрузок для сечения 1–1 расчетные усилия: N_{1-1} , $M_{\text{max}}^{\text{лев}}$. Момент раскладывается на пару горизонтальных сил $H = M_{\text{max}}^{\text{лев}} / h_{\text{ф}}^{\text{оп}}$, которые воспринимаются узлами крепления нижнего и верхнего поясов фермы.

Нижний опорный узел. Опорное давление фермы $F_R = N_{1-1}$ передается с опорного фланца фермы через строганные или фрезерованные поверхности на опорный столик. Опорный фланец должен выступать на 10...20 мм ниже

фасонки опорного узла. Опорный столик выполняют из листа $t = 30 \dots 40$ мм. Учитывая возможный эксцентриситет передачи нагрузки, возникающий из-за неплотного опирания фланца и его перекоса в своей плоскости, угловые швы крепления столика рассчитываются на усилие $1,2F_R$. Высоту столика определяют из условия прочности сварного шва на срез

$$h_{ст} = \frac{1,2F_R}{2 \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \dots 2 \text{ см} .$$

Опорный фланец прикрепляют к полке колонны болтами грубой или нормальной точности, которые ставят в отверстия на $3 \dots 4$ мм больше диаметров болтов, чтобы они не могли воспринять опорную реакцию фермы в случае неплотного опирания фланца на опорный столик. Для зданий, возводимых в районах с расчетной температурой наружного воздуха выше -40°C , следует применять болты классов 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.6 и 8.8 по ГОСТ 15589-70*, ГОСТ 15591-70*, ГОСТ 7798-70*, ГОСТ 7796-70*.

В большинстве случаев опорный момент $M_{\max}^{\text{лев}}$ имеет знак минус, т.е. направлен против часовой стрелки. В этом случае горизонтальная сила H прижимает фланец узла нижнего пояса к колонне и болты в узле ставятся конструктивно (обычно $6 \dots 8$ болтов диаметром $20 \dots 24$ мм). Болты в соединении устанавливаются в соответствии с требованиями /2, табл. 39/.

Если в опорном узле возникает положительный момент $M_{\max}^{\text{лев}}$ и усилие H отрывает фланец от колонны, то болты крепления фланца нижнего пояса к колонне работают на растяжение и их прочность следует проверить с учетом внецентренного приложения усилия (см. пример 3 прилож. 2).

Швы крепления фланца к фасонке работают в сложных условиях, т.к. воспринимают опорную реакцию фермы F_R и, как правило, внецентренно приложенную силу H . Под действием опорного давления F_R швы срезаются вдоль шва и в них возникают напряжения

$$\tau^F = \frac{F_R}{v_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} .$$

Усилие H приводит к срезу шва в направлении, перпендикулярном оси шва, и появлению напряжений

$$\tau^H = \frac{H}{v_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} .$$

Поскольку центр шва может не совпадать с осью нижнего пояса, то на шов действует момент $M = H \cdot e$, где e – эксцентриситет приложения усилия H . Под действием момента шов также работает на срез перпендикулярно оси шва и в нем возникают напряжения

$$\tau^M = \frac{M}{W_f} = \frac{6 \cdot H \cdot e}{v_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w^2} .$$

Прочность шва крепления фланца к фасонке проверяют в наиболее напряженной точке на действие результирующих напряжений

$$\tau = \sqrt{(\phi^F)^2 + (\phi^H + \phi^M)^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c .$$

Верхний опорный узел. При отрицательном знаке опорного момента $M_{\max}^{\text{лев}}$ горизонтальная сила H в узле крепления верхнего пояса стремится оторвать фланец от колонны и вызывает его изгиб. Момент при изгибе фланца определяют как в защемленной балке пролетом b , равным расстоянию между болтами:

$$M_{\text{фл}} = \frac{H \cdot b}{8} .$$

Напряжения во фланце

$$\sigma = \frac{M_{\text{фл}}}{W} = \frac{6 \cdot H \cdot b}{8 \cdot a \cdot t^2} = \frac{3 \cdot H \cdot b}{4 \cdot a \cdot t^2} \leq R_y \gamma_c ,$$

где a и t – соответственно длина и толщина фланца.

Рекомендуется верхний опорный узел проектировать так, чтобы сила H проходила через центр фланца. В этом случае усилие растяжения во всех болтах одинаково и необходимое число болтов можно определить по формуле:

$$n = \frac{H}{[N_b] \gamma_c} ,$$

где $[N_b]$ – несущая способность болта на растяжение, $[N_b] = R_{bt} \cdot A_{bn}$; R_{bt} – расчетное сопротивление болта растяжению /2, табл. 58*/; A_{bn} – площадь сечения болта нетто /2, табл. 62*/.

Шов крепления фланца к фасонке работает на срез и его прочность проверяют по формуле

$$\tau_w = \frac{H}{2 \cdot v_f \cdot k_f \cdot (a - 1 \text{ см})} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c .$$

Если горизонтальная сила H не проходит через центр фланца, то швы и болты рассчитывают с учетом эксцентриситета.

Если в опорном узле возникает положительный момент $M_{\max}^{\text{лев}}$, то сила H в узле крепления верхнего пояса прижимает фланец к колонне и болты в узле ставятся конструктивно (обычно 4...6 болтов).

При обеспечении податливости верхнего опорного узла (постановка болтов в отверстия на 5...6 мм больше диаметра болтов, использование гибкого фланца) шарнирное сопряжение фермы с колонной может быть выполнено и при опирании сбоку /7/.

Укрупнительные стыки ферм. Решение укрупнительных узлов ферм при их поставке из отдельных отправочных элементов показано на рис. 11, а также в /4, 5, 6/. Приведенные решения обеспечивают сборку конструкции из двух симметричных взаимозаменяемых полуферм.

Укрупнительные стыки ферм можно выполнять с помощью уголковых или листовых накладок, прикрепляемых болтами или сваркой. Расчет узлов с

листовыми накладками рассмотрен выше, пример расчета укрупнительных узлов верхнего и нижнего поясов приведен в прилож. 2.

РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ

Рабочие чертежи рассчитанной фермы выполняются на стадии КМД (конструкции металлические). В курсовом проекте графическая часть выполняется на листе формата А1 (лист № 2 проекта) и содержит:

1. Расчетно-геометрическую схему фермы, на которой указываются привязка к осям здания, размеры элементов фермы и расчетные усилия (в кН) в стержнях отправочного элемента. Рекомендуемый масштаб 1:100.

2. Изображение отправочного элемента фермы (левого), вид сверху и снизу, сечения. Рекомендуемые масштабы: схема осевых линий – масштабы 1:20, 1:25, 1:30, 1:50, поперечные размеры элементов – масштабы 1:10, 1:15.

3. Узлы и сопряжения: монтажные узлы для верхнего и нижнего поясов в сборе, узлы опирания фермы на колонну (в курсовом проекте опорные узлы можно привести на листе № 1). Рекомендуемые масштабы 1:10, 1:15.

4. Спецификацию на отправочный элемент фермы.

5. Примечания к чертежу, включающие указания о способах сварки, сварочных материалах, преобладающих и не проставленных на чертеже размерах сварных швов, болтов, отверстий и т.д.

ТРЕБОВАНИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ И МОНТАЖУ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ

Изготовление и монтаж стропильных ферм покрытия должен производиться в соответствии с требованиями СНиП III–18–75 «Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ», СНиП 3.03.03–87 «Несущие и ограждающие конструкции».

Изготавливать фермы рекомендуется на специализированных предприятиях, оснащенных соответствующим оборудованием. Сборка конструкций и отдельных элементов должна выполняться в жестких кондукторах на специальных стендах.

Защиту стальных ферм от коррозии следует производить в соответствии с требованиями СНиП 2.03.11–85 «Защита строительных конструкций от коррозии» и СНиП 3.04.03–85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии».

Монтаж стропильных ферм покрытия рекомендуется выполнять поэлементно или блоками в соответствии с ППР, утвержденным в установленном порядке.

Допускаемые отклонения при монтаже ферм
(регламентированы СНиП III–18–75):

Отклонение отметок опорных узлов ферм	±20 мм
Стрела прогиба (кривизна) между точками закрепления участков сжатого пояса из плоскости	1/750 величины закрепленного участка, но не более 15 мм
Отклонение расстояний между осями ферм по верхнему поясу	±15 мм

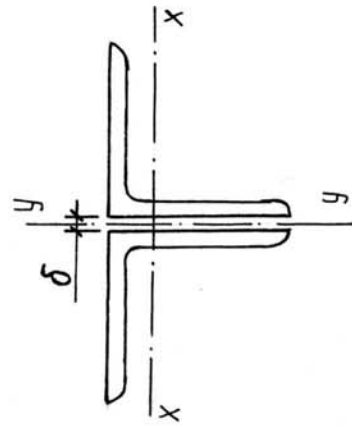
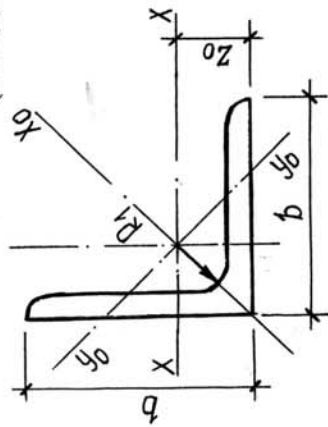
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 44 с.
2. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 96 с.
3. Серия 1.460.2 –10. Стальные конструкции покрытий одноэтажных производственных зданий с фермами из парных уголков. Вып. 1.
4. Кузин Н.Я. Проектирование и расчет стальных ферм покрытий промышленных зданий: Учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 184 с.
5. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций: Учеб. пособие для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 431с.
6. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов/ Под общ. ред. Е.И.Беленя. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
7. Металлические конструкции: В 3 т. Т. 1. Элементы стальных конструкций: Учеб. пособие для строит. вузов/ Под ред. В.В.Горева. – М.: Высш.шк., 1997. – 527 с.
8. Металлические конструкции: В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий: Учеб. пособие для строит. вузов/ Под ред. В.В.Горева. – М.: Высш.шк., 1999. – 528 с.
9. Мурашко Н.Н., Соболев Ю.В. Металлические конструкции производственных сельскохозяйственных зданий. – Минск: «Высшая школа», 1987. – 278 с.
10. Проектирование металлического каркаса одноэтажного производственного здания. Ч. 1. Сбор нагрузок / Сост. И.И.Зуева, Б.И.Десятов; Перм.гос.техн.ун-т. – Пермь, 1998. – 47 с.
11. Расчет стальных конструкций: Справ. пособие/ Я.М.Лихтарников, Д.В.Ладыженский, В.М.Клыков. 2-е изд., перераб. и доп.– К.: Будивельник, 1984. – 368 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 7

Уголки стальные горячекатаные равнополочные (выборка из ГОСТ 8509-93)
 (звездочкой отмечены профили, рекомендуемые по сокращенному сортаменту,
 утвержденному Госстроем СССР от 20.IV.1984, № 59)



Размеры, мм	R ₁ , мм	A, см ²	Масса М, кг	z ₀ , см	Справочные данные для осей						Радиус инерции i _y для двух уголков при δ, мм				
					x - x		x ₀ - x ₀		y ₀ - y ₀		8	10	12	14	
b	t	J _x , см ⁴	i _x ,	J _{x0} , см ⁴	i _{x0} , см	J _{y0} , см ⁴	i _{y0} , см	J _{y0} , см ⁴	i _{y0} , см	J _{y0} , см ⁴	i _{y0} , см	J _{y0} , см ⁴	i _{y0} , см	J _{y0} , см ⁴	i _{y0} , см
50*	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	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	
70*	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	
	5*	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	
70*	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	
70*	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	

Продолжение табл. 7

Размеры, мм	R_1 , мм	A , см^2	Масса M , кг	z_0 , см	Справочные данные для осей								Радиус инерции i_y для двух уголков при δ , мм			
					$x-x_0$		x_0-x_0		y_0-y_0		8	10	12	14		
					J_x , см^4	i_x ,	J_{x_0} , см^4	i_{x_0} , см	J_{y_0} , см^4	i_{y_0} , см						
75*	5	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	9,38	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		
	9	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		
90*	6*	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		
	7*	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		
	8	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		
	9	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*	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		
110*	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		
	7	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		

Продолжение табл. 7

Размеры, мм	R_1 , мм	A , см ²	Масса I_M , кг	z_0 , см	Справочные данные для осей						Радиус инерции i_y для двух уголков при δ , мм			
					$x-x_0$		x_0-x_0		y_0-y_0		8	10	12	14
					J_x , см ⁴	i_x ,	J_{x0} , см ⁴	i_{x0} , см	J_{y0} , см ⁴	i_{y0} , см				
125*	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
		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
		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
		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
		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
		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*	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
		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
		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*	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
		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
		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
		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
		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
		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
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		
180*	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
		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

Окончание табл. 7

Размеры, мм		R_1 , мм	A , см ²	Масса I_m , кг	z_0 , см	Справочные данные для осей						Радиус инерции i_y для двух углов при δ , мм			
						$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0		8	10	12	14
						J_x , см ⁴	i_x ,	J_{x0} , см ⁴	i_{x0} , см	J_{y0} , см ⁴	i_{y0} , см				
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		

Примеры расчета узлов ферм из парных уголков

Пример 1. Рассчитать и законструировать промежуточный узел верхнего пояса с узловой нагрузкой (рис. 8). Материал конструкций: уголки – сталь С245, фасонка – сталь С255.

Сварка полуавтоматическая сварочной проволокой СВ-08А диаметром $d = 2$ мм. Так как $\beta_f R_{wf} = 0,9 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ кН/см}^2 < \beta_z R_{wz} = 1,05 \cdot 0,45 \cdot 38 = 17,95 \text{ кН/см}^2$, то расчет ведем по металлу шва. Определяем длины сварных швов для крепления раскосов 1 и 2 к фасонке по формуле на обушке

$$l_w^{\text{об}} = \frac{N_{\text{об}}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \dots 2 \text{ см};$$

на перу

$$l_w^{\text{п}} = \frac{N_{\text{п}}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \dots 2 \text{ см},$$

где $n = 2$ – количество швов.

Результаты расчета сварных швов сводим в таблицу (табл. 8).

Таблица 8

Результаты расчета сварных швов

Номер стержня	Сечение	N, кН	Шов по обушке			Шов по перу		
			N _{об} , кН	k _f , мм	l _w , см	N _п , кН	k _f , мм	l _w , см
1	2L 100 x 8	405,9	284,16	8	12	121,8	6	8
2	2L 70 x 6	319,6	223,7	6	13	95,9	4	9

При конструировании узла определена длина фасонки, равная 600 мм. Длина швов крепления пояса к фасонке по полученным размерам фасонки составляет $l_w = 60 - 1 = 59$ см, $\Sigma l_w = 59 \cdot 4 = 236$ см. Определяем катет шва, прикрепляющего фасонку к верхнему поясу:

$$k_f = \frac{\sqrt{(N_4 - N_3)^2 + F^2}}{v_f \cdot \gamma l_w \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} = \frac{\sqrt{(500,9 - 394,2)^2 + 95^2}}{0,9 \cdot 236 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} = 0,1 \text{ см}.$$

Принимаем $k_f = 6$ мм.

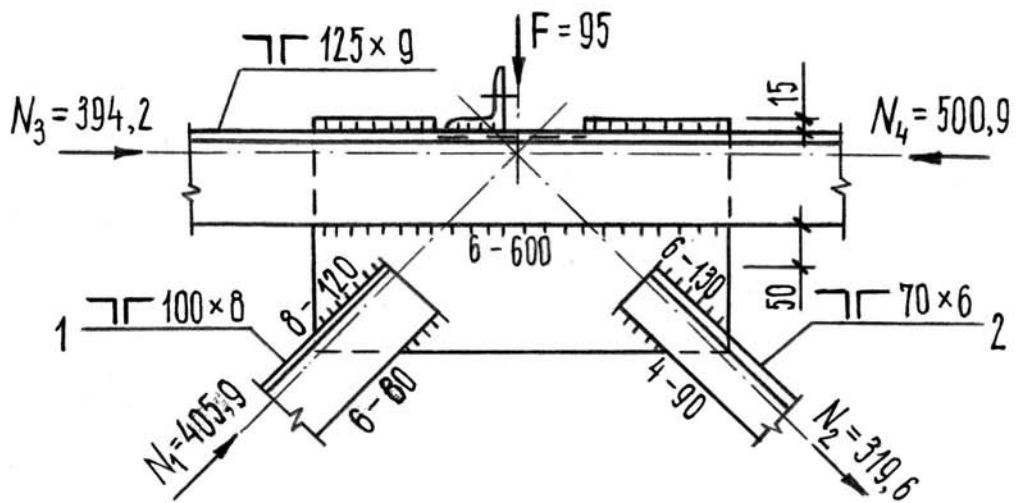


Рис. 8. Узел сопряжения верхнего пояса фермы с раскосами (пример 1)

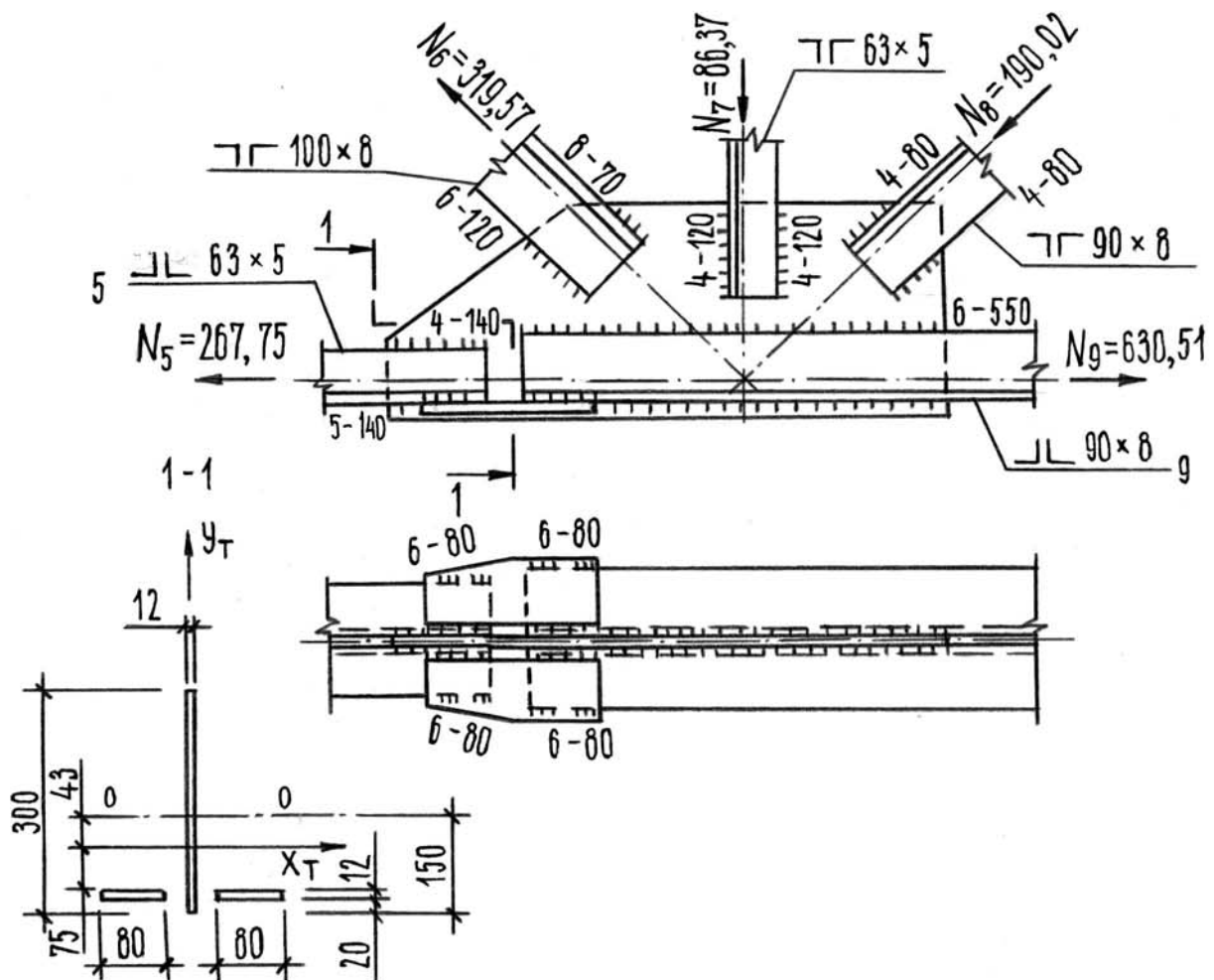


Рис. 9. Узел стыка нижнего пояса фермы (пример 2)

Пример 2. Рассчитать и законструировать промежуточный узел нижнего пояса с накладками (рис. 9). Материал конструкций – сталь С245.

Определяем усилие, действующее в стыке:

$$N_c = N_5 + N_6 \cdot \cos \alpha = 267,75 + 319,57 \cdot 0,707 = 493,7 \text{ кН} .$$

Требуемая площадь сечения стыковых накладок:

$$A_{\text{тр}} = \frac{b \cdot N_c}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 493,7}{24,5 \cdot 1} = 14,1 \text{ см}^2 .$$

Принимаем ширину накладки $b = 80$ мм. Толщина накладки

$$t = \frac{A_{\text{тр}}}{2 \cdot b} = \frac{14,1}{2 \cdot 8} = 0,9 \text{ см} .$$

Принимаем $t = 12$ мм (не менее толщины фасонки).

Проверяем прочность ослабленного сечения (в месте стыка уголков):

1. Упрощенный способ проверки:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{1,2 \cdot N_5}{A_{\text{усл}}} = \frac{1,2 \cdot N_5}{\Sigma A_{\text{н}} + t_{\text{ф}} \cdot 2 \cdot b} = \frac{1,2 \cdot 267,75}{2 \cdot 1,2 \cdot 8 + 1,2 \cdot 2 \cdot 6,3} = 9,37 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 24,5 \text{ кН/см}^2$$

Прочность обеспечена.

2. Для более точного способа проверки необходимо определить геометрические характеристики ослабленного сечения относительно оси $x_{\text{T}} - x_{\text{T}}$:

$$z_0 = \frac{S_0}{A} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 8 \cdot (15 - 2,6)}{1,2 \cdot 30 + 2 \cdot 1,2 \cdot 8} = 4,3 \text{ см} ;$$

$$J_x = \frac{1,2 \cdot 30^3}{12} + 2 \cdot \frac{8 \cdot 1,2^3}{12} + 2 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot (15 - 4,3 - 2 - 0,6)^2 = 3962 \text{ см}^4 ;$$

$$W_x^{\text{н}} = \frac{3962}{7,5 + 1,2 + 2,0} = 370 \text{ см}^3 .$$

Эксцентриситет приложения силы $e = 15 - 2 - 1,2 - 1,74 - 4,3 = 5,76$ см.

Проверяем прочность ослабленного сечения:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{1,2 \cdot N_5}{A} + \frac{1,2 \cdot N_5 \cdot e}{W_x^{\text{н}}} = \frac{1,2 \cdot 267,75}{30 \cdot 1,2 + 8 \cdot 1,2 \cdot 2} + \frac{1,2 \cdot 267,75 \cdot 5,76}{370} =$$

$$= 10,82 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 24,5 \text{ кН/см}^2 .$$

Прочность обеспечена.

Швы, прикрепляющие листовую накладку к поясам, рассчитываем на усилие в накладке:

$$N_{\text{н}} = A_{\text{н}} \cdot \sigma_{\text{н}} = 8 \cdot 1,2 \cdot 10,82 = 103,9 \text{ кН} .$$

Длина каждого шва, выполняемого полуавтоматической сваркой,

$$l_w = \frac{N_{\text{н}}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 2 \text{ см} = \frac{103,9}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 2 \text{ см} = 7,2 \text{ см} .$$

Принимаем $l_w = 80$ мм.

Определяем длину швов прикрепления уголков нижнего пояса к фасонке.

Стержень 5. Расчетное усилие определяется как максимальное из двух усилий:

$$N_I = 1,2N_5 - 2N_H = 1,2 \cdot 267,75 - 2 \cdot 103,9 = 113,5 \text{ кН};$$

$$N_{II} = \frac{1,2N_5}{2} = \frac{1,2 \cdot 267,75}{2} = 160,65 \text{ кН}.$$

Расчет ведем на $N_{II} = 160,65 \text{ кН}$.

Длина швов

$$l_w^{\text{об}} = \frac{\kappa_{\text{об}} \cdot N_{II}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,7 \cdot 160,65}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 7,8 \text{ см}.$$

$$l_w^{\text{п}} = \frac{\kappa_{\text{п}} \cdot N_{II}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,3 \cdot 160,65}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 4,7 \text{ см}.$$

Принимаем конструктивно $l_w^{\text{об}} = l_w^{\text{п}} = 140 \text{ мм}$.

Стержень 9.

$$N_I = 1,2N_9 - 2N_H = 1,2 \cdot 630,51 - 2 \cdot 103,9 = 548,9 \text{ кН};$$

$$N_{II} = \frac{1,2N_9}{2} = \frac{1,2 \cdot 630,51}{2} = 378,31 \text{ кН}.$$

Длина швов

$$l_w^{\text{об}} = \frac{\kappa_{\text{об}} \cdot N_I}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,7 \cdot 548,9}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 20,3 \text{ см}.$$

$$l_w^{\text{п}} = \frac{\kappa_{\text{п}} \cdot N_I}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,3 \cdot 548,9}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 9,3 \text{ см}.$$

Принимаем $l_w^{\text{об}} = l_w^{\text{п}} = 550 \text{ мм}$ исходя из габаритов фасонки.

Пример 3. Рассчитать и законструировать опорные узлы фермы по типу узла на рис. 7, в. Материал конструкций: уголки – сталь С245, фасонки – сталь С255. Опорная реакция фермы $F_R = 340 \text{ кН}$, опорный момент $M = -630 \text{ кНм}$. Момент раскладываем на пару горизонтальных сил $H = M/h_{\phi}^{\text{оп}} = 630/3,15 = 200 \text{ кН}$.

Нижний опорный узел (рис. 10). Определяем высоту опорного столика из условия прочности сварного шва на срез. Сварка ручная электродом Э 42. Так как $\beta_f R_{wf} = 0,7 \cdot 18,5 = 12,95 \text{ кН/см}^2 < \beta_z R_{wz} = 1 \cdot 0,45 \cdot 38 = 17,1 \text{ кН/см}^2$, то расчет ведем по металлу шва:

$$h_{\text{ст}} = l_w = \frac{1,2F_R}{2 \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{1,2 \cdot 340}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 21 \text{ см}.$$

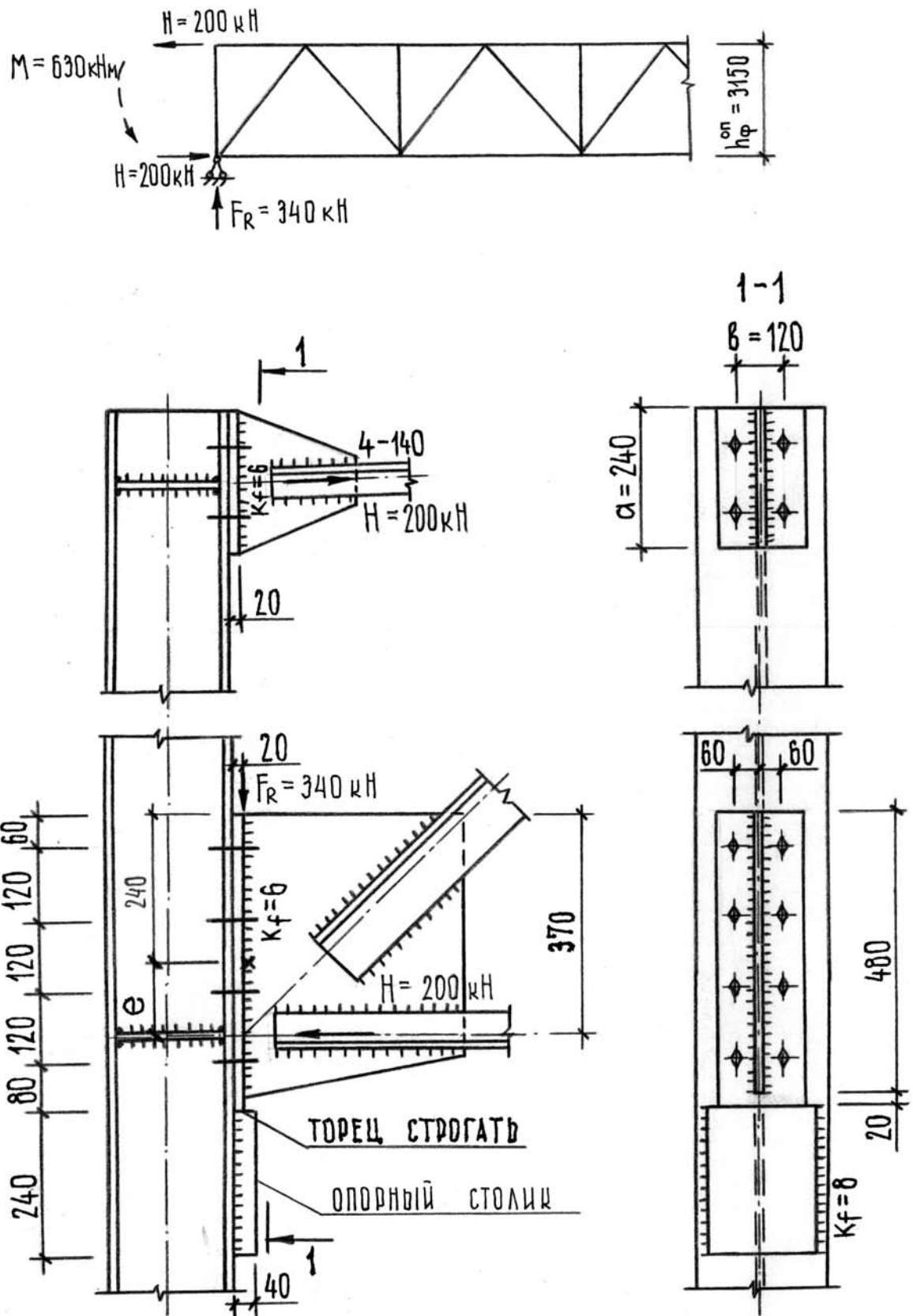


Рис. 10. Опорный узел фермы из парных уголков (пример 3)

Принимаем высоту столика равной 240 мм, толщину – 40 мм.
 Опорный фланец принимаем толщиной 20 мм и шириной 240 мм.
 Проверяем напряжение смятия торца фланца от опорной реакции:

$$\sigma = \frac{1,2F_R}{A_{\text{фл}}} = \frac{1,2 \cdot 340}{24 \cdot 2} = 8,5 \text{ кН/см}^2 < R_p \gamma_c = 37 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность обеспечена.

Так как опорный момент M имеет знак минус, то сила H прижимает фланец узла нижнего пояса к колонне и болты в узле ставятся конструктивно (8 болтов нормальной точности М20 класса прочности 5.6).

Выполняем проверку шва, прикрепляющего фасонку к опорному фланцу на срез от опорной реакции F_R и внецентренное сжатие силой H вследствие эксцентриситетности приложения силы по отношению к середине шва.

Эксцентриситет силы по отношению к середине шва $e = 13,0$ см.

Касательное напряжение

$$\tau_w = \frac{F_R}{n \cdot b_f \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{340}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 47} = 8,62 \text{ кН/см}^2,$$

где длина шва определена конструкцией узла: $l_w = 1 - 1 \text{ см} = 48 - 1 = 47 \text{ см}$.

Нормальное напряжение

$$\sigma_w = \frac{H}{n \cdot b_f \cdot k_f \cdot l_w} + \frac{H \cdot e \cdot 6}{n \cdot b_f \cdot k_f \cdot l_w^2} = \frac{200}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 47} + \frac{200 \cdot 13 \cdot 6}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 47^2} = 13,5 \text{ кН/см}^2.$$

Условное приведенное напряжение

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{y_w^2 + \phi_w^2} = \sqrt{13,5^2 + 8,62^2} = 16,1 \text{ кН/см}^2 < R_{wf} \gamma_w \gamma_c = 18,5 \text{ кН/см}^2.$$

Прочность обеспечена.

Проверяем опорное сечение фасонки на срез:

$$\tau = \frac{F_R}{h \cdot t_{\text{ф}}} = \frac{340}{48 \cdot 2} = 3,6 \text{ кН/см}^2 < R_s \gamma_c = 0,58 \cdot 24,5 = 14,21 \text{ кН/см}^2.$$

В случае действия положительного опорного момента, усилие H будет отрывать фланец от колонны, поэтому дополнительно необходимо выполнить расчет болтов на растяжение. Например, принимаем условно $M = +630$ кНм, тогда горизонтальная сила $H = M/h_{\text{ф}}^{\text{оп}} = 630 / 3,15 = 200$ кН.

Центр тяжести болтового соединения от верхней кромки

$$y_0 = \frac{\sum y_i}{n_{\text{б}}} = \frac{6 + 18 + 30 + 42}{4} = 24 \text{ см}.$$

Расстояние от верха фасонки до места приложения нагрузки $y_c = 370$ мм.

Эксцентриситет $e = y_c - y_0 = 37 - 24 = 13,0$ см.

Максимальное усилие растяжения в крайнем болте опорного узла

$$N_{\text{max}} = \frac{1}{n} \left(\frac{H}{n_{\text{б}}} + \frac{H \cdot e \cdot y_{\text{max}}}{\sum y_i^2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{200}{4} + \frac{200 \cdot 13 \cdot 42}{6^2 + 18^2 + 30^2 + 42^2} \right) = 43,1 \text{ кН}.$$

Несущая способность на растяжение одного болта М20 класса 5.6

$$N_{bt} = A_{bn} \cdot R_{bt} = 2,45 \cdot 21 = 51,45 \text{ кН} > N_{\max} = 43,1 \text{ кН.}$$

Условие прочности соблюдается.

Верхний опорный узел (рис. 10) Так как момент M имеет знак минус, то сила H в верхнем опорном узле стремится оторвать фланец от колонны и вызывает его изгиб. Момент при изгибе фланца определяют как в защемленной балке пролетом b :

$$M_{\text{фл}} = \frac{H \cdot b}{8} = \frac{200 \cdot 12}{8} = 300 \text{ кНсм.}$$

Принимаем $t = 20$ мм, $a = 240$ мм.

Напряжения во фланце

$$\sigma = \frac{M_{\text{фл}}}{W} = \frac{M_{\text{фл}} \cdot 6}{a \cdot t^2} = \frac{300 \cdot 6}{24 \cdot 2^2} = 18,75 \text{ кН/см}^2 \leq R_y \gamma_c = 24,5 \text{ кН/см}^2 .$$

Прочность обеспечена.

Так как сила H стремится оторвать фланец, то количество болтов в соединении определяем расчетом на растяжение. Желательно верхний опорный узел проектировать так, чтобы сила H проходила через центр фланца. В этом случае усилие растяжения во всех болтах одинаково и необходимое число болтов можно определить по формуле

$$n = \frac{H}{N_{bt} \cdot \gamma_c} = \frac{200}{51,45 \cdot 1} = 3,9 ,$$

где $N_{bt} = A_{bn} \cdot R_{bt} = 2,45 \cdot 21 = 51,45$ кН – несущая способность болта М20 на растяжение.

Принимаем четыре болта.

Проверяем прочность сварного шва крепления фланца к фасонке:

$$\tau_w = \frac{H}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{200}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 23} = 10,4 \text{ кН/см}^2 < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 18,5 \text{ кН/см}^2 ,$$

где $l_w = a - 1$ см = 24 - 1 = 23 см.

Прочность сварного шва обеспечена.

Если горизонтальная сила H не проходит через центр фланца, то швы и болты рассчитывают с учетом эксцентриситета.

Если в опорном узле возникает положительный момент $M_{\max}^{\text{лев}}$, то сила H в узле крепления верхнего пояса прижимает фланец к колонне и болты в узле ставятся конструктивно.

Пример 4. Рассчитать и запроектировать укрупнительный узел фермы на листовых накладках (рис. 11). Материал конструкций – сталь С245.

Верхний монтажный узел. Усилие в стыке

$$N_c = 1,2N_1 = 1,2 \cdot 673,7 = 808,44 \text{ кН}$$

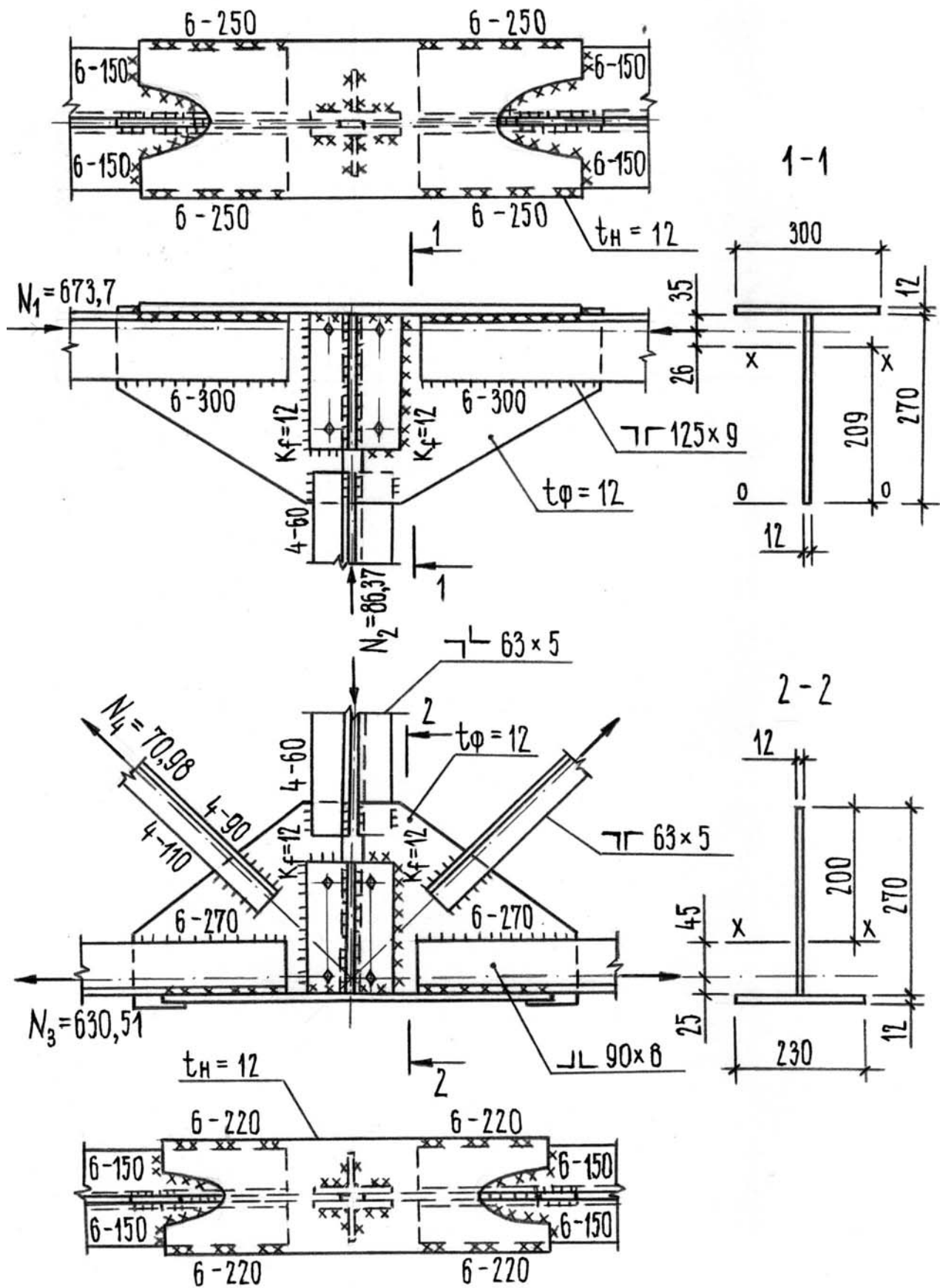


Рис. 11. Монтажный узел фермы из парных уголков (пример 4)

Ширина накладки

$$b_H = 2 \cdot l_{y\Gamma} + t_\Phi + 2 \cdot c = 2 \cdot 125 + 12 + 2 \cdot 19 = 300 \text{ мм.}$$

Толщина накладки

$$t_H = \frac{N_H}{R_y b_H} = \frac{565,91}{24,5 \cdot 30} = 0,77 \text{ см ,}$$

где $N_H = 0,7 N_c = 0,7 \cdot 808,44 = 565,91$ кН.

Принимаем толщину накладки $t_H = 12$ мм (не менее толщины фасонки).

Проверяем прочность узла верхнего пояса фермы.

1. Упрощенный способ проверки:

$$\sigma_H = \frac{1,2 \cdot N_1}{A_{\text{усл}}} = \frac{1,2 \cdot N_1}{\Sigma A_H + t_\Phi \cdot 2 \cdot b} = \frac{1,2 \cdot 673,7}{30 \cdot 1,2 + 1,2 \cdot 2 \cdot 12,5} = 12,25 \text{ кН/см}^2 < R_{y\Gamma c} = 24,5 \text{ кН/см}^2$$

Прочность обеспечена.

2. Для более точного способа проверки необходимо определить геометрические характеристики сечения 1–1:

$$z_0 = \frac{\Sigma S_0}{\Sigma A} = \frac{27 \cdot 1,2 \cdot 13,5 + 30 \cdot 1,2 \cdot 27,6}{27 \cdot 1,2 + 30 \cdot 1,2} = 20,9 \text{ см ;}$$

$$J_x = \frac{1,2 \cdot 27^3}{12} + 1,2 \cdot 27 \cdot (20,9 - 13,5)^2 + \frac{30 \cdot 1,2^3}{12} +$$

$$+ 30 \cdot 1,2 \cdot (27,6 - 20,9)^2 = 5363 \text{ см}^4 ;$$

$$W_x^B = \frac{5363}{28,2 - 20,9} = 735 \text{ см}^3 .$$

Эксцентриситет приложения силы

$$e = 270 - 209 - 35 = 26 \text{ мм.}$$

Наибольшее сжимающее напряжение

$$\sigma_H = \frac{1,2 \cdot N_1}{A} + \frac{1,2 \cdot N_1 \cdot e}{W_x^B} = \frac{1,2 \cdot 673,7}{27 \cdot 1,2 + 30 \cdot 1,2} + \frac{1,2 \cdot 673,7 \cdot 2,6}{735} =$$

$$= 14,7 \text{ кН/см}^2 < R_y \gamma_c = 24,5 \text{ кН/см}^2 .$$

Монтажный стык двух отправочных элементов ферм выполняется с помощью ручной сварки электродами Э42. Так как $\beta_f R_{wf} = 0,7 \cdot 18,5 = 12,95 \text{ кН/см}^2 < \beta_z R_{wz} = 1 \cdot 0,45 \cdot 38 = 17,1 \text{ кН/см}^2$, то расчет ведем по металлу шва.

Швы, прикрепляющие листовую накладку к поясам, рассчитываем на усилии в накладке

$$N_H = A_H \cdot \sigma_H = 30 \cdot 1,2 \cdot 14,7 = 529,2 \text{ кН.}$$

Требуемая длина швов прикрепления накладки к полкам поясных уголков:

$$l_w = \frac{N_H}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 4 \text{ см} = \frac{529,2}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 4 \text{ см} = 73 \text{ см.}$$

Принимаем два шва по 25 см и два шва по 15 см.

Определяем длину сварных швов крепления верхнего пояса к фасонке. Сварка полуавтоматическая сварочной проволокой СВ-08А диаметром $d=2$ мм. Так как $\beta_f R_{wf} = 0,9 \cdot 18,5 = 16,65 \text{ кН/см}^2 < \beta_z R_{wz} = 1,05 \cdot 0,45 \cdot 38 = 17,95 \text{ кН/см}^2$, то расчет ведем по металлу шва.

Расчетное усилие определяется как максимальное из двух усилий

$$N_I = 1,2N_1 - N_H = 1,2 \cdot 673,7 - 529,2 = 279,24 \text{ кН};$$

$$N_{II} = \frac{1,2N_1}{2} = \frac{1,2 \cdot 673,7}{2} = 404,22 \text{ кН}.$$

Расчет ведем на $N_{II} = 404,22 \text{ кН}$.

Длина швов

$$l_w^{\text{об}} = \frac{\kappa_{\text{об}} \cdot N_{II}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,7 \cdot 404,22}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 15,2 \text{ см}.$$

$$l_w^{\text{п}} = \frac{\kappa_{\text{п}} \cdot N_{II}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,3 \cdot 404,22}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 7,1 \text{ см}.$$

Окончательно длины сварных швов назначаем конструктивно по габаритам фасонки (рис. 11).

Требуемый катет угловых швов для присоединения вертикальных накладок к фасонке

$$k_f = \frac{R_y \cdot t_{\text{ф}}}{2 \cdot v_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf}} = \frac{24,5 \cdot 1,2}{2 \cdot 0,7 \cdot 18,5 \cdot 1} = 1,14 \text{ см}.$$

Принимаем $k_f = 12 \text{ мм}$.

Нижний монтажный узел. Расчет узла производим аналогично расчету узла верхнего пояса.

Усилие в листовой накладке

$$N_c = 1,2 \cdot 0,7 \cdot N_3 = 1,2 \cdot 0,7 \cdot 630,51 = 529,63 \text{ кН}$$

Ширина накладки

$$b_H = 2 \cdot 90 + 12 + 2 \cdot 19 = 230 \text{ мм}.$$

Толщина накладки

$$t_H = \frac{N_H}{R_y \cdot b_H} = \frac{529,63}{24,5 \cdot 23} = 0,94 \text{ см}.$$

Принимаем толщину накладки $t_H = 12 \text{ мм}$ (не менее толщины фасонки).

Проверяем прочность узла нижнего пояса фермы на внецентренное растяжение по точному методу. Геометрические характеристики сечения 2–2:

$$z_0 = \frac{27 \cdot 1,2 \cdot 13,5 + 23 \cdot 1,2 \cdot 27,6}{27 \cdot 1,2 + 23 \cdot 1,2} = 20 \text{ см};$$

$$J_x = \frac{1,2 \cdot 27^3}{12} + 1,2 \cdot 27 \cdot (20 - 13,5)^2 + \frac{23 \cdot 1,2^3}{12} + 23 \cdot 1,2 \cdot (27,6 - 20)^2 = 4935 \text{ см}^4;$$

$$W_x^B = \frac{J_x}{h_{\Phi} + t_H - z_0} = \frac{4935}{27 + 1,2 - 20} = 602 \text{ см}^3 .$$

Эксцентриситет приложения силы $e = 270 - 25 - 200 = 45 \text{ мм}$.

Нормальная сила в сечении 2-2:

$$N_{2-2} = N_3 + N_4 \cdot \sin \beta = 630,51 + 70,98 \cdot 0,707 = 680,7 \text{ кН}.$$

Максимальное растягивающее напряжение

$$\sigma_H = \frac{1,2 \cdot N_{2-2}}{A} + \frac{1,2 \cdot N_{2-2} \cdot e}{W_x^B} = \frac{1,2 \cdot 680,7}{23 \cdot 1,2 + 27 \cdot 1,2} + \frac{1,2 \cdot 680,7 \cdot 4,5}{602} = 19,8 \text{ кН/см}^2 <$$

$$< R_y \gamma_c = 24,5 \text{ кН/см}^2$$

Швы, прикрепляющие листовую накладку к поясам, рассчитываем на усилие в накладке:

$$N_H = A_H \cdot \sigma_H = 23 \cdot 1,2 \cdot 19,8 = 546,48 \text{ кН}.$$

Требуемая длина швов прикрепления накладки

$$l_w = \frac{N_H}{v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 4 \text{ см} = \frac{546,48}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 4 \text{ см} = 74 \text{ см}.$$

Принимаем два шва по 22 см и два шва по 15 см.

Усилие для расчета сварных швов крепления нижнего пояса к фасонке определяется как максимальное из двух усилий

$$N_I = 1,2N_3 - N_H = 1,2 \cdot 630,51 - 546,48 = 210,14 \text{ кН} ;$$

$$N_{II} = \frac{1,2N_3}{2} = \frac{1,2 \cdot 630,51}{2} = 378,31 \text{ кН} .$$

Расчет ведем на $N_{II} = 378,31 \text{ кН}$.

Длины швов:

$$l_w^{\text{об}} = \frac{\kappa_{\text{об}} \cdot N_{II}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,7 \cdot 378,31}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 14,3 \text{ см} ,$$

$$l_w^{\text{п}} = \frac{\kappa_{\text{п}} \cdot N_{II}}{n \cdot v_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \Gamma_{wf} \cdot \Gamma_c} + 1 \text{ см} = \frac{0,3 \cdot 378,31}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 18,5 \cdot 1 \cdot 1} + 1 \text{ см} = 6,7 \text{ см} .$$

Окончательно длины сварных швов назначаем конструктивно по габаритам фасонки.

Составители Л.П.Абашева, И.И.Зуева
Сдано в печать 11.03.08
формат 60 x 84/16. Объем 3,5 п.л.
Тираж 200. Заказ

Отпечатано с авторского макета лабораторией ИСТ СТФ ПГТУ