

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

Кафедра строительной механики,  
геотехники и строительных конструкций

В. Д. ПРАСОЛ

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В ЗАДАЧАХ И ПРИМЕРАХ

Часть IV  
СТРОПИЛЬНЫЕ ФЕРМЫ

*Одобрено методической комиссией факультета ПГС  
в качестве учебно-методического пособия*

Гомель 2022

УДК 624.014(075.8)  
ББК 30.4  
П82

Р е ц е н з е н т – ведущий эксперт ДРУП «Госстройэкспертиза» по Гомельской области *Т. В. Гуцева*

**Прасол, В. Д.**

П82 Металлические конструкции в задачах и примерах. В 4 ч. Ч. IV. Стропильные фермы : учеб.-метод. пособие / В. Д. Прасол ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 52 с.  
ISBN 978-985-891-075-4 (ч. IV)

Изложены основы расчета стропильных ферм из уголков, тавров, двутавров и гнутосварных профилей. Представлена теория расчета ферм, подбора элементов и расчета узлов. Приведены основные положения расчета фланцевых соединений. Дан набор задач для практических занятий с исходными данными для вариантов. Соответствует действующим нормам СП 5.04.01–2021 «Стальные конструкции».

Предназначено для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство», может быть использовано при дипломном проектировании и в проектной практике для самостоятельного изучения и проведения контроля знаний.

**УДК 624.014(075.8)**  
**ББК 30.4**

**ISBN 978-985-891-075-4 (ч. IV)**  
**ISBN 978-985-554-654-3**

© Прасол В. Д., 2022  
© Оформление. БелГУТ, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1 Стропильные фермы</b> .....	4
1.1 Общие сведения.....	4
<b>2 Расчет ферм</b> .....	6
2.1 Определение усилий в стержнях фермы.....	6
2.2 Расчетные длины и предельные гибкости стержней ферм.....	10
2.3 Подбор сечений ферм.....	11
<b>3 Конструирование стропильных ферм</b> .....	16
3.1 Основные требования.....	16
3.2 Расчет и конструирование узлов ферм из уголков.....	17
3.3 Расчет и конструирование узлов ферм из круглых труб и гнутосварных профилей.....	27
3.4 Расчет и конструирование узлов ферм из тавров и двутавров с параллельными гранями полок. Монтажные узлы балочных ферм.....	33
3.5 Фланцевые соединения в укрупнительных узлах ферм.....	39
<b>4 Задачи к расчету легких стропильных ферм и их узлов</b> .....	44
<b>Список литературы</b> .....	52

# 1 СТРОПИЛЬНЫЕ ФЕРМЫ

## 1.1 Общие сведения

Стропильные фермы являются основным пролетным элементом поперечной рамы стального и смешанного каркасов производственных зданий. Фермы воспринимают нагрузку от настила с утеплителем, снега, подвесных кранов, пыли, технологического оборудования и передают ее на колонны. Сопряжение ригеля с колонной может быть шарнирным, а в зданиях с кранами тяжелого или весьма тяжелого режимов работы кранов – жестким для обеспечения горизонтальной жесткости каркаса.

Типовые схемы стропильных ферм представляют собой конструкции с параллельными поясами и унифицированы для пролетов 18–36 м при длине панели 3 м и высоте сечения 3150 мм – по обушкам уголков, 2900 мм – по центрам труб; имеют независимо от пролета одинаковый малый уклон – 1,5 % и одинаковую привязку (рисунок 1.1).

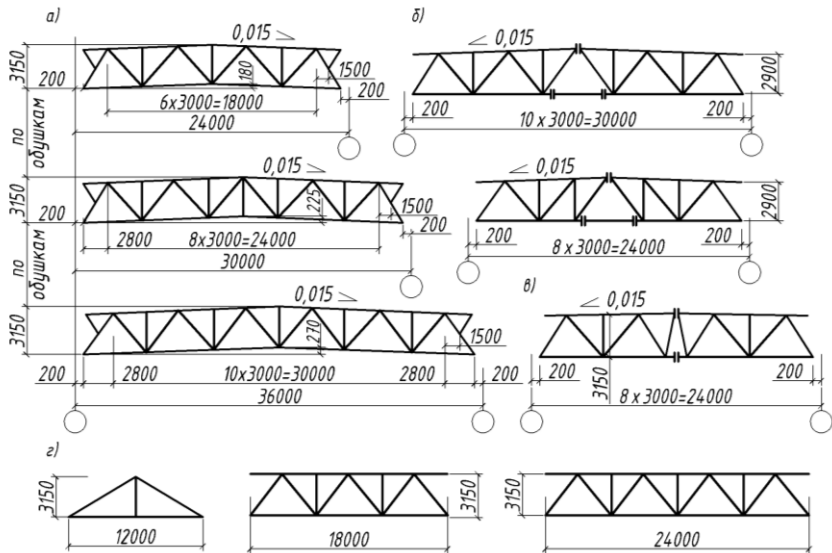


Рисунок 1.1 – Схемы стропильных ферм:

*а* – из уголков и тавров; *б* – из труб; *в* – из широкополочных двутавров;

*з* – схемы подстропильных ферм

Стержни стропильных ферм выполняют из эффективных профилей: труб, двутавров и тавров с параллельными гранями полок из одиночных и парных уголков, из швеллеров (рисунок 1.2).

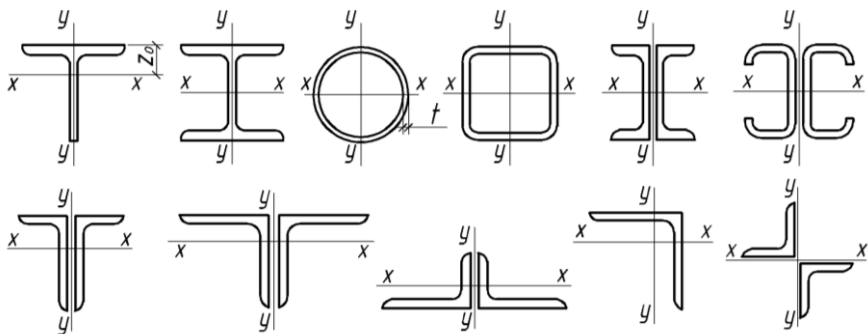


Рисунок 1.2 – Эффективные профили

Тавровые профили получают путем разрезки широкополочных двутавров с последующей их правкой. Такие профили целесообразно применять в поясах, выполняя решетку фермы из парных уголков. Фермы из широкополочных тавров в поясах, по сравнению с уголковыми, экономичнее по расходу стали на 13 %, по трудоемкости изготовления – на 25–30 %, имеют меньшую протяженность сварных швов на 45 %.

Фермы из широкополочных двутавров в поясах и с решеткой из гнутосварных прямоугольных профилей по сравнению с фермами из парных уголков экономичнее по расходу стали на 10–20 %, а по сравнению с фермами из тавров в поясах и решеткой из уголков – на 5–10 %. При этом, чем больше нагрузка, тем экономичнее фермы из широкополочных двутавров.

Применение круглых и прямоугольных труб в стропильных конструкциях делает их еще более экономичными по расходу стали и стоимости по сравнению с фермами из широкополочных тавров и двутавров. Эффективность применения этих профилей возрастает благодаря их тонкостенности и рациональной форме поперечного сечения при работе на сжатие.

Использование ферм из парных уголков ввиду их невысокой эффективности должно быть ограничено.

Сопряжение стержней в узлах следует выполнять, как правило, заводской сваркой. Укрупнение ферм и монтажные соединения их с колонной должны быть болтовым.

## 2 РАСЧЕТ ФЕРМ

### 2.1 Определение усилий в стержнях фермы

Усилия в стержнях фермы определяют от постоянной и снеговой нагрузок, а в рамах с жестким сопряжением фермы с колонной – также и от опорных моментов, возникающих в раме.

Возможны три схемы передачи нагрузки на ферму: 1) узловая; 2) узловая на шпренгельную ферму; 3) смешанная (узловая и внеузловая).

При узловой передаче нагрузки (первая схема) (рисунок 2.1, а) усилия в ригеле определяют как и в балочной ферме – аналитическим или графическим способом по диаграмме Максвелла – Кремоны или с помощью многофункционального программного комплекса для расчета строительных конструкций. Обычно строят одну диаграмму, например, для постоянной нагрузки, а усилия в стержнях фермы от снеговой нагрузки определяют через соотношения этих нагрузок. Иногда находят усилия от снега и на полупролете фермы.

Если ферма имеет шпренгельную решетку (вторая схема), то шпренгели отбрасывают, а местную нагрузку распределяют в основные узлы и графически находят усилия в стержнях основной фермы и в шпренгеле от местной нагрузки. Усилия в общих стержнях фермы и шпренгеля складывают, если они одного знака, или берут большее по величине, если усилия равнозначные.

В фермах с внеузловой нагрузкой она (нагрузка) также распределяется по узлам, усилия в основной ферме определяют как и при первой схеме. Верхний пояс в этом случае рассчитывают на сжатие с изгибом. Изгибающие моменты в панелях верхнего пояса от местной нагрузки определяют как в неразрезной балке, опорами которой являются узлы фермы.

Чтобы определить усилия в ферме от опорных моментов, строят диаграмму усилий от единичного положительного момента, приложенного на левой опоре (рисунок 2.1, б), который заменяют парой сил  $H = 1/h$ , где  $h$  – расстояние между осями поясов на опоре.

Усилия в любом стержне фермы от опорных моментов вычисляют по формуле

$$N = M_c S_l + M_{c1} S_r,$$

а в нижнем поясе с учетом нормальной силы – по формуле

$$N = M_c S_l + M_{c1} S_r + N_{cc1},$$

где  $M_c, M_{c1}$  – величины левого и правого расчетных опорных моментов в ригеле рамы от внешней нагрузки, полученные в результате расчета рамы на все нагрузки, действующие на нее;  $S_l, S_r$  – усилия в левом и правом симметричных стержнях фермы от единичного момента на левой опоре (см. рисунок 2.1, б);  $N_{cc1}$  – нормальная сила в ригеле рамы.

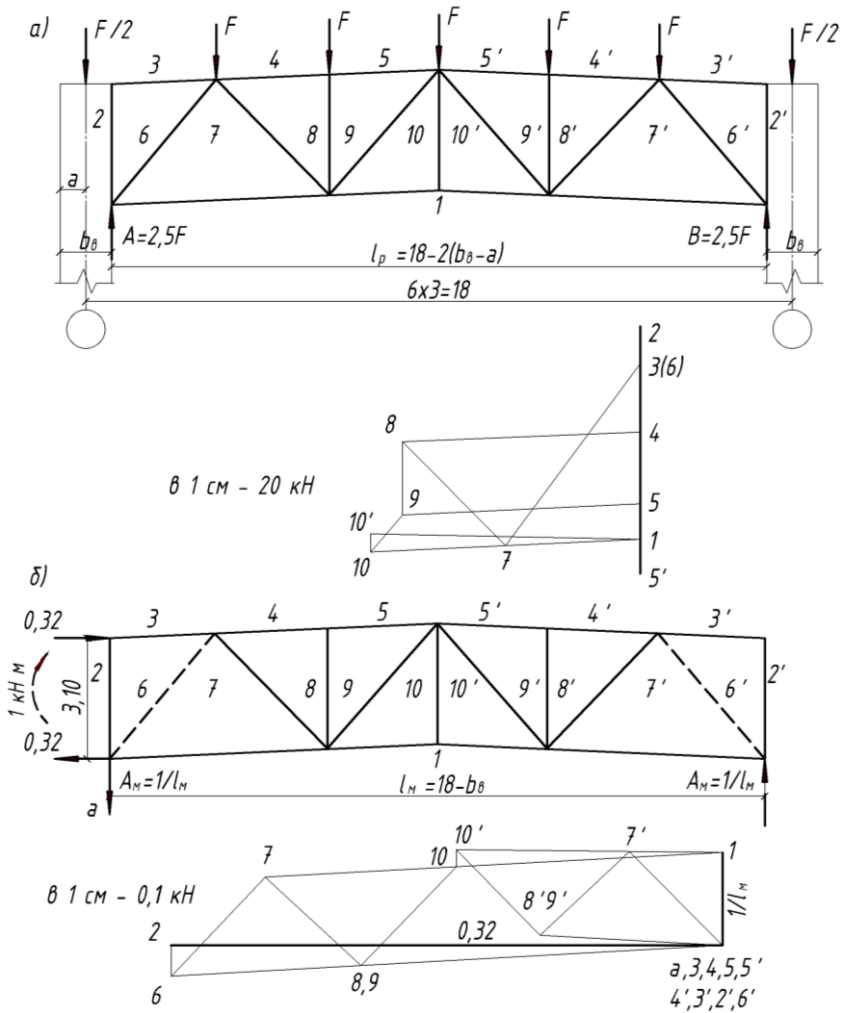


Рисунок 2.1 – Расчетная схема фермы

Разгружающее влияние опорных моментов следует учитывать с осторожностью, поскольку в процессе эксплуатации здания возможно расстройство жесткого соединения, выполненного на болтах. Поэтому ригель рассчитывают как свободную балку на вертикальную нагрузку, распространяя влияние опорных моментов лишь на те стержни, в которых усилия от них возрастают или меняют знак (становятся сжатыми). Разгружающее

влияние опорных моментов учитывают лишь при условии особой оговорки в проекте о необходимости полного и надежного закрепления ригеля с колонной до приложения к нему нагрузок.

Поскольку нормы проектирования растянутых и сжатых стержней различны (например, требования по предельным гибкостям), то для каждого стержня необходимо выбрать наибольшие возможные сжимающие и растягивающие усилия. Эти усилия называют расчетными. При жестком сопряжении ригеля с колонной их получают из трех загрузений фермы – постоянной и снеговой нагрузками и одним из опорных моментов: наибольшим положительным (или отрицательным) на левой опоре ригеля и соответствующим им моментам на правой опоре ригеля.

Расчетные усилия записывают в табличной форме (таблица 2.1), в которую вносят значения от вертикальных нагрузок.

В теории проектирования принята следующая нумерация воздействий (загрузений): 1 – постоянное от собственного веса; 2 – временное от снега; 3, 4 – вертикальные крановые; 5, 6 – горизонтальные крановые от торможения тележки крана; 7, 8 – ветровые; 9 – суммарное от отрицательного опорного момента фермы; 10 – суммарное от положительного опорного момента фермы.

Сочетания от загрузений 1–8 сформированы для поперечной рамы одноэтажного производственного здания, где цифровое значение со штрихом указывает на загрузение, принятое с понижающим коэффициентом 0,8.

Выбор расчетных усилий выполняют по следующим правилам.

1 Усилия от постоянной нагрузки учитывают всегда.

2 Снеговую нагрузку включают, если она увеличивает расчетное усилие, и принимают с  $k = 0,6$ , если одновременно с ней учитывают влияние опорного момента.

3 Усилия от снеговой нагрузки (загрузение 2) и от опорного момента (загрузения 9 или 10) учитывают совместно в случае, если загрузение 2 вошло в состав опорного момента.

При шарнирном сопряжении с колонной ферму рассчитывают на узловую нагрузку от веса плит покрытия с утеплителем, снега, подвесного транспорта, если он имеется, и от другого технологического оборудования. Усилия здесь также определяют графическим способом (см. рисунок 2.1, а). Расчетными сочетаниями усилий являются те, которые вызывают наибольшее растяжение или сжатие фермы. Они могут быть определены как и для жестко защемленных ферм, т. е. с коэффициентами сочетаний. При возможности разграничения удельного влияния кратковременных нагрузок на усилия в конструкциях допускается учитывать их значения следующим образом: для первой по степени влияния кратковременной нагрузки усилия принимать без снижения, для второй – с коэффициентом 0,6.



Таблица 2.1 – Определение расчетных усилий

Элементы ригеля	№ стерж- ней	Усилия в балочной ферме от нагрузок						Усилия в ферме от опорных моментов при сочетании нагрузок							
		постоянной с загрузением		снеговой с загрузением		$M_c = 1$		1, 2, 4, 6, 8			1, 3, 6, 7			Расчетные усиления, кН	
		1	1'	2	2'	$S_l$	$S_r$	$-M_{c \max}; N_{cc1} = 147,0$			$+M_{c \max}; N_{cc'} = 123,0$			Растяжение	Сжатие
		$k = 1,0$	$k = 0,8$	$k = 1,0$	$k = 0,8$			$M_c = -1210$	$M_{c1} = -346,0$	Суммарные с загрузением (9)	$M_c = 75,0$	$M_{c1} = -779,0$	Суммарные с за- грузением (10)		
Верхний пояс	3–8	0	0	0	0	-0,47	0	570,0	0	570,0	35,0	0	-35,0	570,0	-35,0
	6–13	-573,0	-457,0	218,0	-196,0	-0,16	-0,11	94,0	37,0	231,0	-12,0	86,0	74,0	-	-791,0
Нижний пояс	1–9	270,0	216,0	103,0	92,5	0,36	0,04	-436,2	-3,8	-50,0	27,0	-31,2	-4,2	373,0	-286,5
	1–12	554,0	443,0	213,0	192,0	0,21	0,09	-254,0	-1,2	-285,2	15,7	-70,0	-54,3	767,0	-
Решетка	11–12	-137,0	-119,0	-54,0	-48,6	0,09	-0,03	-109,0	11,0	-98,0	6,7	23,3	30,0	-	-283,6
	12–13	23,0	18,5	9,0	8,1	-0,07	-0,026	85,0	-9,0	76,0	-5,2	-20,0	-25,2	107,1	-6,7

С учетом этих рекомендаций в таблице 2.2 приведены примеры выбора расчетных усилий для ряда стержней шарнирно опертой в стержнях ригеля фермы от постоянной и снеговой нагрузок и от воздействия подвесного крана.

Таблица 2.2 – Определение расчетных усилий в стержнях шарнирно опертой фермы

Элементы фермы	№ стержней	Усилия в ферме от нагрузок						Расчетные усилия, кН	
		постоянной		снеговой		крановой			
		с загружением						растяжение +	сжатие –
		1 $k = 1,0$	1' $k = 0,8$	2 $k = 1$	2' $k = 0,8$	3 $k = 1$	3' $k = 0,8$		
Верхний пояс	6–13	–560	448	–220	–176	–160	–128	–	1, 2, 3'* –908
Нижний пояс	1–9	280	224	120	96	80	64	1, 2, 3'* 464	–
Решетка	11–12	–110	–88	–40	–32	–70	–56	–	1, 2, 3'* –212
	12–13	25	20	10	8	–30	–24	1, 2* 35	1', 3* –10
*Сочетание загружений.									

Кратковременных нагрузок в таблице 2.2 две – снеговая и крановая, их влияние по величине разграничено. Для удобства подсчета усилия в таблице 2.2 записаны двумя столбцами, приведены номера нагрузок в сочетании расчетных нагрузок.

## 2.2 Расчетные длины и предельные гибкости стержней ферм

Расчетные длины сжатых стержней необходимы для проверки их устойчивости, а растянутых – их жесткости. Расчетные длины определяют в плоскости фермы и в перпендикулярной плоскости (из плоскости фермы).

Предварительно назначают тип сечения (см. рисунок 1.2) и устанавливают согласно нормам [1] расчетные длины и предельные гибкости элементов, значения которых даны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчетные длины и предельные гибкости стержней ферм

Элементы ферм	Расчетные длины				Предельные гибкости
	в плоскости фермы		из плоскости фермы		
	из уголков	из труб	из уголков	из труб	
Сжатые пояса	$l$	$l$	$l_1$	$l_1$	120
Опорные раскосы	$l$	$l$	$l$	$l$	120
Прочие сжатые элементы	$0,8l$	$0,9l$	$l$	$0,9l$	150
Растянутые элементы	$l$	$l$	$l_1$	$l_1$	400
Примечание – $l$ – геометрическая длина стержня; $l_1$ – расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы (связями, прогонами, плитами покрытий, приваренными к поясам ферм).					

Сжатый стержень, теряя устойчивость в плоскости фермы, изгибается и вследствие жесткости фасонки поворачивает другие стержни, примыкающие к узлу. Примыкающие стержни сопротивляются изгибу и повороту узла и создают тем самым эффект его защемления. При этом растянутые элементы сопротивляются повороту значительно больше, чем сжатые. Так как к сжатым поясам примыкает лишь по одному растянутому раскосу, то они считаются слабо защемленными. На основании этого расчетная длина сжатых поясов и опорных раскосов в плоскости фермы  $l_{ef, x}$  равна их геометрической длине, т. е. расстоянию между центрами узлов. Другие сжатые стержни решетки, примыкая одним концом к растянутому поясу, испытывают большее защемление, поэтому их расчетная длина в плоскости фермы на 10–20 % меньше геометрической (см. таблицу 2.3).

Из плоскости фермы сжатые элементы теряют устойчивость как шарнирные, выпучиваясь между точками закрепления концов. Точками закрепления являются: для поясов – погоны, связи, плиты покрытия, приваренные к поясам, для элементов решетки – узлы ферм.

Расчетной длиной элементов фермы из плоскости фермы  $l_{ef, y}$  является их геометрическая длина.

Предельные гибкости элементов ферм (см. таблицу 2.3) ограничиваются: для сжатых стержней – их устойчивостью, для растянутых – вибрацией, особенно при динамических нагрузках.

### 2.3 Подбор сечений ферм

Сжатые стержни из широкополочных тавров, двутавров и парных уголков и швеллеров представлены на рисунке 1.2. При подборе сечений сжатых элементов используют условие устойчивости

$$\frac{N}{\varphi A f_{yd} \gamma_c} \leq 1, \quad (2.1)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице Б.1 [1]. Для сжатых элементов покрытий (кроме трубчатых) при расчете на устойчивость  $\gamma_c = 0,9$ , для трубчатых  $\gamma_c = 1$ ; для сжатых элементов решетки, их парных уголков (кроме опорных раскосов) при гибкости  $\lambda \geq 60$   $\gamma_c = 0,8$ .

Задавшись  $\varphi = 0,7 \dots 0,9$ , из условия (2.1) находят требуемую площадь:

$$A_{req} = \frac{N}{\varphi f_{yd} \gamma_c}. \quad (2.2)$$

По сортаменту подбирают подходящий профиль и вычисляют гибкости в двух плоскостях:

$$\bar{\lambda}_x = \frac{l_{ef, x}}{i_x} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}}; \quad \bar{\lambda}_y = \frac{l_{ef, y}}{i_y} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}}.$$

По большей гибкости находят  $\varphi$  (таблица Д.1 [1]), проверяют устойчивость по формуле (2.1) и при необходимости сечение корректируют (т. е. увеличивают или уменьшают номер профиля), добываясь более полного использования материала.

В сортаменте следует принимать профили с более тонкими полками, как имеющими большие радиусы инерции.

Для обеспечения совместной работы двух уголков их соединяют прокладками. Расстояние между прокладками принимают:  $40i$  – для сжатых и  $80i$  – для растянутых элементов и не менее двух на каждый сжатый элемент ( $i$  – радиус инерции уголка относительно оси, параллельной плоскости прокладки). Прокладки ставят на равных расстояниях между внутренними гранями фасонки. Ширину прокладки принимают не менее 60 мм, толщину – равной толщине фасонки. Толщину фасонки назначают по таблице 2.4 в зависимости от усилий в опорном раскосе. Толщину опорной фасонки принимают на 2 мм больше.

Таблица 2.4 – Толщина фасонки

$N_{оп}$ , кН	150	151–250	251–400	401–600	601–1000	1001–1400	1401–1800	1801–2000
$t$ , мм	6	8	10	12	14	16	18	20

**Пример 2.1.** Подобрать сечение сжатого стержня решетки из парных уголков и широкополочных тавров. Сжимающая сила  $N_{Ed} = 540$  кН, расчетные длины  $l_{ef,x} = l_{ef,y} = 300$  см,  $f_{yd} = 210$  МПа.

*Решение.* Стержень из парных уголков. По формуле (2.2) при  $\varphi = 0,8$  и

$$\gamma_c = 0,8 \text{ получим } A_{req} = \frac{540 \cdot 10}{0,8 \cdot 0,8 \cdot 210} = 40,18 \text{ см}^2.$$

По сортаменту принимаем  $2 \perp 140 \times 9$ , для которых  $A = 49,4 \text{ см}^2$ ,  $i_x = 4,34$  см,

$$i_y = 6,09 \text{ см. По большей условной гибкости } \bar{\lambda}_{ef,x} = \frac{300}{4,34} \sqrt{\frac{210}{2,01 \cdot 10^5}} = 2,22$$

(см. таблицу Д.1 [1]) находим  $\varphi = 0,705$ . Так как  $\lambda_x = \frac{300}{4,34} = 69 > 60$  (для

типа сечения С), то для ферм из уголков  $\gamma_c = 0,8$ . Устойчивость обеспечена:

$$\frac{540 \cdot 10}{0,705 \cdot 49,4 \cdot 210 \cdot 0,8} = 0,92 \leq 1.$$

Стержни из широкополочных тавров. Требуемая площадь при  $\gamma_c = 0,95$ ,

$$\varphi = 0,8: A_{req} = \frac{540 \cdot 10}{0,95 \cdot 0,8 \cdot 210} = 33,8 \text{ см}^2. \text{ По сортаменту принимаем } 17,5 \text{ ШТ1}$$

$$(A = 47,8 \text{ см}^2, i_x = 4,52 \text{ см}), \bar{\lambda}_{ef,x} = \frac{300}{4,52} \sqrt{\frac{210}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,12, \varphi = 0,727 \text{ (тип сечения С).}$$

$$\text{Устойчивость обеспечена: } \frac{540 \cdot 10}{0,727 \cdot 47,8 \cdot 210 \cdot 0,95} = 0,78 \leq 1.$$

Сжатые стержни из труб и холодногнутых прямоугольных профилей. В фермах применяют трубы электросварные (ГОСТ 10 704–91) и холодногнутые сварные профили квадратного и прямоугольного сечений (ГОСТ 30245–2012). Сопряжения стержней решетки с поясами выполняют без фасонки, так как они более экономичны по расходу стали, хотя и требуют сложной оторцовки стержней решетки.

При подборе стержней из круглых и прямоугольных труб рекомендуется в целях снижения трудозатрат на оторцовку стержней применять в нижнем и верхнем поясах профили одного диаметра (ширины) и одной длины. Для уменьшения деформации поперечного сечения поясных труб необходимо, чтобы отношение диаметра трубы раскосов  $d$  к диаметру трубы поясов  $D$  было не менее 0,5. Для прямоугольных профилей это отношение ( $d/D$ ) зависит от типа и размеров элементов и точно может быть установлено лишь расчетом узла на продавливание. При подборе профилей  $d/D$  ориентировочно принимают: для К-образных узлов – не менее 0,7, для Т-образных – максимальное (близкое к единице), при котором еще возможно наложение сварных швов для прикрепления стойки к поясу. Допускаемая минимальная толщина профиля для поясов – 3 мм, для раскосов – 2,5 мм. Отношение диаметра трубы к ее толщине в целях обеспечения местной устойчивости должно соответствовать

$$\frac{d}{t} \leq 3,14 \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}},$$

а для прямоугольных профилей – в зависимости от условной гибкости  $\bar{\lambda}$  по формулам таблицы 9 [1].

Подбор сечений труб и проверку их устойчивости производят так же, как и сечения уголков, по формулам (2.1), (2.2). При этом для трубчатых ферм коэффициент  $\gamma_c = 1$ . Профили в сортаменте выбирают по требуемой площади с учетом вышеизложенного и рекомендаций по расчету на продавливание.

**Пример 2.2.** Подобрать трубчатое сечение раскоса длиной  $l = 410$  см из стали с расчетным сопротивлением  $f_{yd} = 230$  МПа. Сжимающая сила  $N = 580$  кН. Расчетные длины (см. таблицу 2.3)  $l_{ef,x} = l_{ef,y} = 410 \cdot 0,9 = 369$  см.

*Решение.* Требуемая площадь по формуле (2.2) при  $\varphi = 0,8$  и  $\gamma_c = 1$

$$A_{req} = \frac{580 \cdot 10}{0,8 \cdot 230 \cdot 1} = 31,5 \text{ см}^2. \text{ Принята труба } d \times t = 159 \times 7 \text{ (} A = 33,4 \text{ см, } i = 5,38 \text{ см).}$$

$$\text{Гибкость } \bar{\lambda}_{ef,x} = \frac{369}{5,38} \sqrt{\frac{230}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,3, \quad \varphi = 0,837. \text{ Общая устойчивость по}$$

$$\text{формуле (2.1) обеспечена: } \frac{580 \cdot 10}{0,837 \cdot 33,4 \cdot 230 \cdot 1} = 0,91 \leq 1.$$

Местная устойчивость обеспечена:

$$\frac{d}{t} = \frac{159}{7} = 22,7 < 3,14 \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{230}} = 94.$$

*Растянутые стержни.* Центральные растянутые стержни проектируют из тех же профилей, что и сжатые. Если нижний пояс ригеля проектируют из неравнобоких уголков, то в целях увеличения жесткости в горизонтальной плоскости их объединяют узкими полками.

Площадь сечения нетто подбирают по расчетному усилию

$$A_{n, req} = \frac{N}{f_{yd} \gamma_c}.$$

Коэффициент условия работы в сварных растянутых элементах конструкций покрытий согласно таблице Б.1 [1]  $\gamma_c = 0,95 \cdot 1,05 = 1$ .

*Сжато-изогнутые стержни.* Верхний пояс работает на сжатие с изгибом при внеузловой передаче нагрузки, что имеет место при использовании пустотных плит покрытия или ребристых шириной 1,5 м при панели фермы – 3 м. В этом случае верхний пояс рационально выполнять из широкополочных двутавров и тавров, а также из неравнобоких уголков широкими полками вместе.

При подборе сечения обычно задают  $\lambda_x = 40 \dots 60$ , вычисляют радиус инерции  $i_x = l_x / \lambda_x$ , по которому в сортаменте подбирают подходящий профиль. Для принятого профиля вычисляют необходимые величины и производят проверку прочности и устойчивости в двух плоскостях по формулам:

– прочность в упругой стадии

$$\frac{N}{A_n f_{yd} \gamma_c} \pm \frac{M_x}{W_{xn} f_{yd} \gamma_c} \pm \frac{M_y}{W_{yn} f_{yd} \gamma_c} \leq 1; \quad (2.3)$$

– устойчивость в плоскости действия момента

$$\frac{N}{\varphi_e A f_{yd} \gamma_c} \leq 1; \quad (2.4)$$

– устойчивость из плоскости действия момента

$$\frac{N}{c \varphi_y A f_{yd} \gamma_c} \leq 1. \quad (2.5)$$

Данные о подборе сечений сводят в таблицу 2.5. В целях унификации количество типоразмеров профилей должно быть ограничено: в фермах пролетом 24 и 30 м – 4–5, в фермах больших пролетов – 5–7. Пояса ферм пролетом 24 м и меньше выполняют постоянного сечения.

Т а б л и ц а 2.5 – Расчет сечений стержней ригеля

Элементы ригеля	№ стержней	Расчетные усилия, кН	Состав сечения	Площадь, см <sup>2</sup>	Расчетная длина, см		Радиусы инерции, см		Гибкость		$\varphi_{\min}$	$\gamma_c$	Напряже-ние, МПа ( $f_{yd} = 220$ )
					$l_x$	$l_y$	$i_x$	$i_y$	$\lambda_x$	$\lambda_y$			
Верхний пояс	3–8 6–13	+760 –580	2L 125×8	39,4	300	300	3,87	5,39	78	56	0,73	1 0,95	193
Нижний пояс	1–9	–450 +780	17,5ШТ	39,5	300	580	4,43	5,92	68	98	0,58 –	0,95 1	207 198
	1–12	+920	15ШТ3	42,3	600	900	3,89	4,84	154	186	–	1	216
Раскосы	11–12	–280	2L 110×7	30,4	344	430	3,4	4,78	101	90	0,57	0,8	202
	11–12	–280	гн. □ 127×5,5	21,0	387	387	4,31	4,31	90	90	0,69	1	208
Стойки	10–11	–50	тр. Ø 63×3	6,81	279	279	2,41	2,41	116	116	0,46	1	160
	10–11	–50	2L 56×4	8,76	248	310	1,73	2,57	143	121	0,34	0,8	210

*Примечания*

1 В таблице приведены различные типы сечений условно.

2 Если усилие в стержне имеет два знака, то напряжение и коэффициент  $\gamma_c$  следует приводить для обоих случаев, а коэффициент  $\varphi$  – лишь для сжатых элементов.

3 Значение гибкостей приводить для двух плоскостей.

## 3 КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ

### 3.1 Основные требования

После подбора сечения стержней ферм и составления таблицы сечений ферм (см. таблицу 2.5) приступают к разработке рабочих чертежей ферм. Стропильную ферму, как правило, разбивают на две отправочные марки (полуфермы). Отправочные марки должны быть одинаковы (взаимозеркальны), что достигается за счет унификации укрупнительных и монтажных узлов. Такое решение повышает серийность и технологичность проектного решения.

Составление рабочих детализированных чертежей (КМД) начинают с изображения геометрической схемы осей фермы. В целях удобства конструирования масштаб сетки осей фермы по условиям размещения чертежей на листе А2 выбирают в пределах 1/20–1/50, а масштаб сечений стержней ферм принимают в два раза крупнее – 1/10–1/20. Геометрические длины стержней определяют с точностью до миллиметра. Далее наносят на оси ферм контуры поясов и решетки. При этом центры тяжести сечений стержней совмещают с осями геометрической схемы. В стержнях ферм уголков и тавров привязку обуха к оси фермы округляют до ближайших 5 мм. В бесфасоночных узлах трубчатых ферм допускают иногда расцентровку осей для более технологичного крепления раскосов к поясу. Смещение осей поясов фермы при изменении сечений не должно превышать 1,5 % высоты меньшего пояса.

При конструировании узлов одновременно производят расчет крепления раскосов и фасонки и их привязку к центру узла. На чертеже приводится спецификация металла на отправочную марку с добавкой металла на сварку (1 %) и на плюсовые допуски на прокат (3 %). В примечании к чертежу приводят общие данные по изготовлению конструкции (неоговоренные катеты сварных швов, отверстий под болты, технология сварки и сварочные материалы, данные о фрезеровке, о контролируемом усилии натяжения болтов и т. д.).

Конструкция узлов в значительной мере определяет трудоемкость и стоимость изготовления и монтажа ферм.

По назначению узлы подразделяются на промежуточные, укрупнительные и монтажные.

Промежуточные узлы служат для соединения элементов решетки с поясами. Их проектируют сварными и выполняют на заводе. Укрупнительные узлы соединяют две отправочные марки (полуфермы) в один монтажный элемент – стропильную ферму. С помощью монтажных узлов стропильная ферма соединяется с колоннами, образуя поперечную раму.

Оба типа узлов выполняют на строительной площадке, поэтому они должны быть технологичны, т. е. экономичны, просты и нетрудоемки в осуществлении. До недавнего времени укрупнительные и монтажные узлы выполнялись в основном сварными, что требовало много времени и труда,



в связи с чем понижалось их качество и надежность. В настоящее время на монтаже широко используются высокоэффективные болтовые соединения. Поэтому укрупнительные узлы необходимо выполнять болтовыми на фланцах, а монтажные – с использованием опорных столиков и болтов грубой и нормальной точности.

Особенности конструирования ферм из различных профилей рассмотрены ниже.

### 3.2 Расчет и конструирование узлов ферм из уголков

Фермы из парных уголков по своей эффективности уступают фермам из других профилей (тавров, труб), поэтому объем их применения в настоящее время сокращается. Но, несмотря на это, расчет узлов этих ферм знать надо, потому что ферм из уголков смонтировано очень много, и в процессе эксплуатации или при реконструкции зданий возникает необходимость в перерасчете узлов и их усилении.

Промежуточные узлы. При проектировании узлов, прежде всего, наносят сетку осей, а затем контуры поясов и раскосов, округляя привязку обухов уголков к осям фермы до 5 мм (рисунок 3.1, а).

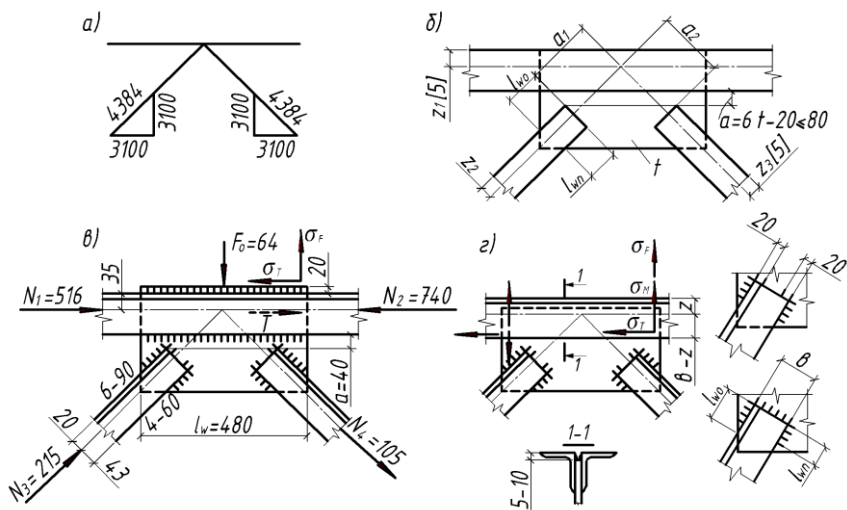


Рисунок 3.1 – Промежуточные узлы

На расстоянии  $a = 6t - 20 \leq 80$  мм от пера уголка проводят вспомогательную линию, за которую не должны выходить торцы раскосов. Далее рассчитывают крепление раскосов к фасонке. Длины швов по перу и обуху назначают так, чтобы центр тяжести сварных швов лежал на линии действия силы. Это исключает возникновение изгибающего момента.

Расчет сварных швов выполняют по одному из двух сечений по условиям:

$$\begin{aligned}
 & - \text{при } \frac{\beta_f f_{wf}}{\beta_z f_{wz}} \leq 1 - \text{по металлу шва;} \\
 & - \text{при } \frac{\beta_f f_{wf}}{\beta_z f_{wz}} > 1 - \text{по металлу границы сплавления,}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

где  $f_{wf}$  – расчетное значение прочности угловых швов по металлу шва (таблица Д.1 [1]);  $f_{wz} = 0,45f_{uk}$  – расчетное значение прочности угловых швов по металлу границы сплавления,  $f_{uk}$  – нормативное значение предела прочности стали (таблицы А.3–А.5 [1]).

Расчет швов ведут по сечению металла шва или по металлу границы сплавления. Для крепления раскоса к фасонке с усилием  $N_3$  (см. рисунок 3.1, б) условие безмоментной работы швов будет выполнено, если длины швов по обушку ( $l_{w0}$ ) и перу ( $l_{wп}$ ) будут определены из условий

$$\begin{aligned}
 l_{w0} &= \frac{N_3(1-\alpha)}{2k_f\beta_f f_{wf}\gamma_c} + 1 \text{ см;} \\
 l_{wп} &= \frac{N_3\alpha}{2k_f\beta_f f_{wf}\gamma_c} + 1 \text{ см,}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

где  $\alpha = b/z$  – отношение, изменяемое для уголков в пределах 0,25–0,32;  $\beta_f, \beta_z$  – коэффициенты формы шва, принимаемые в зависимости от вида сварки, положения шва и диаметра электрода по таблице 40 [1].

При вычислении длин катетом шва задаются в пределах 4–10 мм. При этом вследствие закругления профиля катет шва по перу должен быть не более:

$$\begin{aligned}
 k_f &= 4 \text{ мм} - \text{при толщине уголка } t \leq 6 \text{ мм;} \\
 k_f &= t - 2 \text{ мм при } t = 7-16 \text{ мм;} \\
 k_f &= t - 4 \text{ мм} - \text{при } t > 16 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

Полученные длины откладывают по перу и обушку уголка, чем и определяют размеры фасонки (см. рисунок 3.1, б). В целях уменьшения концентрации напряжений при передаче усилий с раскосов на фасонки рекомендуется швы или заводить на торец уголка на 20 мм, или варить по контуру (см. рисунок 3.1, в, г).

Чтобы исключить влияние момента, длины швов должны отвечать условиям:

$$\begin{aligned}
 l_{w0} &= l_w(1-\alpha) - b/2; \\
 l_{wп} &= l_w\alpha - b/2; \\
 l_w &= \frac{N_3}{2\beta_f\gamma_c f_{wf}},
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

где  $l_w$  – суммарная длина швов;  $b$  – ширина полки уголка.

Фасонка к поясным уголкам может быть приварена четырьмя швами или двумя швами, когда по верхнему поясу фермы укладывают прогоны и выступающий гребень фасонки затрудняет монтаж прогона (см. рисунок 3.1, в, з). Если фасонку к поясным уголкам прикрепляют четырьмя швами, толщину их рассчитывают на узловую силу от постоянной и снеговой нагрузок  $F_0 = G + S$  идвигающее усилие  $T = N_2 - N_1$  из условия прочности сварных

$$\text{швов } \frac{\sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_T^2}}{f_{wf} \gamma_c} \leq 1, \text{ откуда катет шва}$$

$$k_f = \frac{\sqrt{F^2 + T^2}}{4\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.4)$$

Влияние момента в этой формуле не учитывается, так как он мал. В тех случаях, когда по верхнему поясу укладывают прогоны, фасонку не доводят до обушков уголка на 5–10 мм. Образовавшуюся щель заваривают, но в расчет эти швы не принимают ввиду непровара. Расчетными являются только два шва по перу, толщину которых рассчитывают на силы  $F_0$ ,  $T$  и  $M = T(b - z)$ . Из условия прочности (см. диаграмму напряжений на рисунке 3.1, з)

$$\frac{\sqrt{\sigma_T^2 + (\sigma_M + \sigma_F)^2}}{f_{wf} \gamma_c} \leq 1,$$

$$\text{откуда } k_f = \frac{\sqrt{T^2 (F + 6M / l_w)^2}}{2\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.5)$$

**Пример 3.1.** Рассчитать промежуточный узел фермы из уголков. Верхний пояс фермы составлен из двух уголков 125×8 мм, раскосы – из двух уголков 63×5. Усилия, действующие на узел, указаны на рисунке 3.1, в. Усилия в опорном раскосе – 215 кН. Материал – сталь С255. По таблице А.3 [1] находим  $f_{yd} = 240$  МПа, для сварных соединений  $f_{wf} = 165$  МПа,  $f_{wz} = 180$  МПа,  $\beta_f = 0,9$ ,  $\beta_z = 1,05$ . Очевидно, что расчетным является сечение по металлу шва.

*Решение.* Крепление сжатого раскоса рассчитываем на усилие  $N_3 = 215$  кН. Назначим катеты швов: по обушке –  $k_f = 6$  мм, по перу –  $k_f = 4$  мм. Тогда длины швов по обушке и перу по формуле (3.2) при  $\alpha = 0,3$ ,  $\gamma_c = 1$ :

$$l_{wо} = \frac{215 \cdot (1 - 0,3) \cdot 10}{2 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 180 \cdot 1} + 1 = 8,74 \text{ см}; \quad l_{wп} = \frac{215 \cdot 0,3 \cdot 10}{2 \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cdot 180 \cdot 1} + 1 = 6,0 \text{ см}.$$

Размеры швов (катет-длина) 6–90 и 4–60 указаны на чертеже. По усилию в опорном раскосе ( $N = 386$  кН) толщина фасонки (см. таблицу 2.4)

равна 10 мм. Тогда зазор  $a = 6 \cdot 10 - 20 = 40$  мм. Привязка обушков уголков к осям узла с округлением до 5 мм указана на схеме. Очертание фасонки должно быть простым – прямоугольник или трапеция, и устанавливают его так, чтобы швы легли на фасонку, что дает возможность по масштабу определить ее длину. В данном случае  $l_w = 480$  мм.

Прикрепление фасонки к поясным уголкам возможно четырьмя или двумя швами. Рассмотрим оба случая. При четырех швах они работают на срез от сил  $T = 740 - 516 = 224$  кН и  $F_0 = 64$  кН. Катет шва из условия

прочности по формуле (3.4)  $k_f = \frac{10 \cdot \sqrt{64^2 + 224^2}}{4 \cdot 0,9 \cdot 48 \cdot 180 \cdot 1} = 0,1$  см. Согласно таб-

лице 39 [1] для механизированной сварки  $k_f = 4$  мм.

Во втором случае (см. рисунок 3.1, з) фасонка крепится лишь двумя швами, которые рассчитывают на усилия:  $T = 224$  кН,  $F_0 = 64$  кН и изгибающий момент  $M = 224(12,5 - 3,5) \cdot 10^{-2} = 20,2$  кН·м. Катет шва по формуле (3.5) из условия прочности для наиболее напряженной точки шва

$k_f = \frac{10 \sqrt{224^2 + (64 + 6 \cdot 20,2 / 0,48)^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 48 \cdot 180 \cdot 1} = 0,26$  см. Принят минимальный катет

$k_f = 4$  мм.

Стык поясных уголков устраивают при изменении сечения поясов. Он может быть осуществлен по двум вариантам. В первом случае (рисунок 3.2, а) ось стыка совмещают с центром узла с зазором между уголками 50 мм.

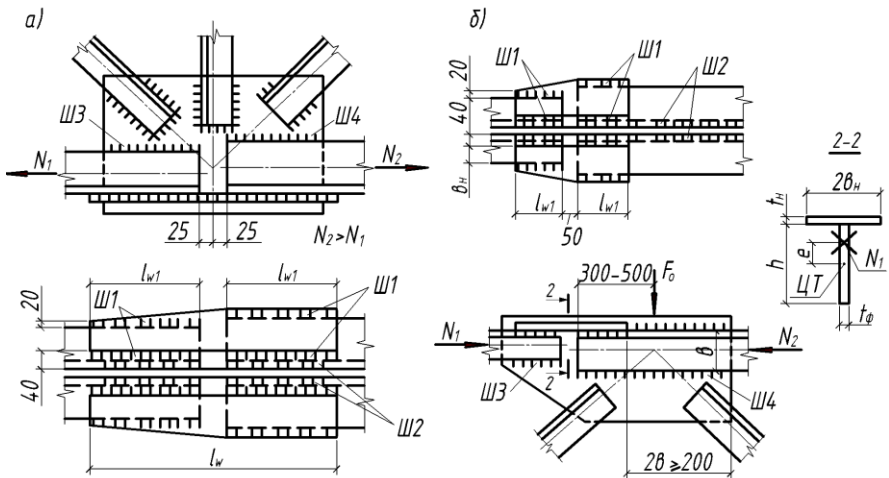


Рисунок 3.2 – Стык поясных уголков

Стык уголков перекрывают уголковыми или листовыми накладками. Уголковые накладки менее технологичны, так как требуют строжки обушка и могут перекрывать лишь поясные уголки одинаковой толщины. Площадь сечения двух накладок рассчитывают на часть меньшего усилия в поясах, увеличенного на 20 %. Если  $N_2 > N_1$ , то

$$N_n = 1,2 N_1 (1 - \alpha). \quad (3.6)$$

Размеры накладки: ширина  $b_n = b - 20$  мм ( $b$  – ширина полки уголка),

толщина  $t = \frac{N_n}{2bR_y\gamma_c}$ .

Длину накладки устанавливают по длине сварного шва. Задавшись катетом шва  $k_f$ , определяют его длину. С учетом условия (3.1)

$$l_{w1} = \frac{N}{4\beta_f k_{f1} f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.7)$$

Далее проверяют прикрепление фасонки к поясным уголкам швами Ш2, катет которых рассчитывают на часть сдвигающего усилия при длине шва  $l_w$ :

$$k_{f2} = \frac{1,2(N_2 - N_1)(1 - \alpha)}{2\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.8)$$

Катеты швов Ш3 и Ш4 определяют соответственно по усилиям  $1,2\alpha N_1$  и  $1,2\alpha N_2$ . Например,

$$k_{f3} = \frac{1,2 N \alpha}{2\beta_f l_{w3} f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.9)$$

Решение узла по второму варианту (см. рисунок 3.2, б) рекомендуется при температуре эксплуатации ниже  $-40$  С°. В этом случае уголок с большим усилием заводят за центр узла с таким расчетом, чтобы наименьшее расстояние между ближайшими краями стыковой накладки и узловой фасонки было не менее двух высот сечения пояса и не менее 200 мм.

Размеры накладок назначают, как и в первом варианте, по силе  $N_n$ . Задавшись катетом  $k_f$ , длину шва  $l_w$  определяют по формуле (3.7), а катет шва Ш2 – по формуле (3.8), катет швов Ш3, Ш4 – по формуле (3.9). Поскольку имеется узловая нагрузка  $F_0$ , то швы фасонки необходимо проверить на совместное действие этой силы и сдвигающей силы  $T = 1,2(N_2 - N_1)$ :

$$\frac{\sqrt{F_0^2 + T^2}}{A_w f_{wf} \gamma_c} \leq 1,$$

где  $A_w$  – суммарная площадь сварных швов, прикрепляющих фасонку к поясным уголкам.



Горизонтальные полки поясных уголков перекрывают двумя накладками Н1, вертикальные разрывы фасонки – двусторонними ребристыми накладками Н2. Ребра накладок повышают устойчивость сжатой фасонки и используются для крепления вертикальных связей. Расчет верхнего узла рассмотрим на примере.

**Пример 3.2.** Рассчитать верхний узел сопряжения полуферм (см. рисунок 3.3), выполненных из стали С245.

*Решение.* Расчетное усилие в накладке:  $N_n = 1,2 \cdot 600 \cdot (1 - 0,3) = 504$  кН.

Сечение двух накладок при  $\gamma_c = 1,0$ ;  $A_n = \frac{504 \cdot 10}{220 \cdot 1,0} = 23$  см<sup>2</sup>. Приняты две

накладки размерами 2×150×8 мм. Суммарная длина четырех швов Ш1 по одну сторону от стыка при  $\beta_f = 0,7$ ;  $k_f = 5$  мм;  $f_{wf} = 180$  МПа;  $\gamma_c = 1$ :

$$l_{w1} = \frac{N_n}{\beta_f k_f f_{wf} \gamma_c} + 4 \text{ см} = \frac{504 \cdot 10}{0,7 \cdot 0,5 \cdot 180 \cdot 1} + 4 = 84 \text{ см}.$$

Полученную длину швов распределяем на два фланговых по 30 см и два косых шва по 12 см. Длину косых швов назначают так, чтобы расстояние между швами Ш1 и Ш2 было не менее 40 мм.

Далее рассчитываем швы Ш2 и Ш3, прикрепляющие фасонку к поясным уголкам, на оставшуюся часть усилия  $N_\phi = 1,2N\alpha = 1,2 \cdot 600 \cdot 0,3 = 216$  кН и половину узловой нагрузки  $F_0 = 80 : 2 = 40$  кН. Приняв  $k_{f1} = k_{f2} = 6$  мм,

$$\text{определим суммарную длину швов } l_w = \frac{10 \cdot \sqrt{40^2 + 216^2}}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 180 \cdot 1} + 4 \text{ см} = 34 \text{ см}.$$

Длины швов приняты:  $l_{w2} = 15$  см;  $l_{w3} = 30$  см.

Швы Ш4 рассчитывают на усилие  $N = 2N_n \sin \alpha$ . Ввиду малого угла наклона пояса к горизонту (уклон пояса 1,5 %) швы получаются незначительными, поэтому принято  $k_{f4} = 4$  мм.

Фасонки полуферм соединяются накладкой Н2.

Катет шва  $k_{f5}$  из условия равнопрочности соединения шва Ш5 и фасонки

$$t = 1,2 \text{ см}: k_{f5} = \frac{f_{yd} t}{2\beta_f f_{wf} \gamma_c} = \frac{220 \cdot 1,2}{2 \cdot 0,7 \cdot 180 \cdot 1} = 1,1 \text{ см}.$$

Проверим прочность узла на внецентренное сжатие. Расчетное сечение тавра представлено на рисунке 3.3. Геометрические характеристики сечения:

$$\text{ния: } z = \frac{30 \cdot 0,8 \cdot 25,4 + 25 \cdot 1,2 \cdot 12,5}{30 \cdot 0,8 + 25 \cdot 1,2} = 12,23 \text{ см}.$$

Эксцентриситет  $e = h_2 - z - z_0 = 25 - 18,23 - 3,36 = 2,41$  см; площадь сечения  $A = 54$  см; момент инерции  $I_x = 2414$  см<sup>4</sup>; момент сопротивления для верхней точки  $W_x = 2414 : 7,57 = 319$  см<sup>3</sup>.

$$\text{Прочность обеспечена, т. к. } \frac{1,2 \cdot 600 \cdot 10}{(1/54 + 3,41/319) \cdot 240 \cdot 1} = 0,88 < 1.$$

Монтажные узлы могут быть жесткими и шарнирными. Наиболее технологичными считаются узлы, выполненные с применением болтов грубой и нормальной точности (рисунок 3.4, а). При этом в изготовленной ферме не должно быть плюсовых допусков по длине.

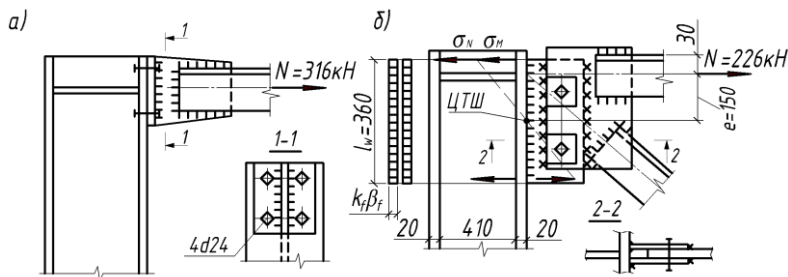


Рисунок 3.4 – Монтажные узлы

Верхний монтажный узел может быть осуществлен на болтах или на сварке. Болтовое соединение (см. рисунок 3.4, а) применяют при таком растягивающем усилии, когда по расчету требуется не более 4–6 болтов диаметром 24 мм.

**Пример 3.3.** Верхний монтажный узел выполнен на болтах грубой точности, которые передают растягивающее усилие  $N = 316$  кН (см. рисунок 3.4, а). Рассчитать болтовое соединение при условии, что число болтов равно четырем.

*Решение.* При заданном числе болтов в соединении неизвестными являются диаметр и расчетное сопротивление болта растяжению. Поэтому одним из неизвестных задаются. Например, принят болт 24 мм. По таблице Г.9 [1]

$$A_{bn} = 3,53 \text{ см. При этом напряжение в болте } \sigma_b = \frac{N}{4 A_{bn}} = \frac{316 \cdot 10}{4 \cdot 3,52} = 224 \text{ МПа,}$$

что соответствует болтам класса 8.8 ( $f_{bt} = 451$  МПа).

В типовой серии стропильных ферм из уголков опорный узел решается путем приварки вертикальной, развитой по высоте фасонки к опорному листу колонны (см. рисунок 3.4, б). Узел имеет компенсационный зазор, обеспечивающий точность сборки и наложение монтажных швов. Швы рассчитывают на силу  $N$  и момент  $M = Ne$  по формуле внецентренного растяжения  $\sigma = \sigma_N + \sigma_M \leq f_{wf} \gamma_c$ , откуда

$$k_f = \frac{1,2 N \left( 1 - \frac{6e}{l_w} \right)}{2B_f l_w f_{wf} \gamma_c}, \quad (3.11)$$

где  $l_w$  – расчетная длина вертикального шва.



**Пример 3.4.** Определить катет швов, соединяющих фасонку с колонной (см. рисунок 3.4, б). Растягивающее усилие – 226 кН, длина швов – 360 мм. Сталь – С235, сварка ручная, электроды Э42;  $f_{wf} = 180$  МПа,  $\beta_f = 0,7$ .

*Решение.* Швы работают на силу  $N$ , изгибающий момент  $M = Ne$ . Наиболее напряженная – верхняя точка. Катет шва по (3.11) при  $e = 36/2 - 3 = 15$  см;

$$\gamma_c = 1; k_f = \frac{1,2 \cdot 226 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 36 \cdot 180 \cdot 1} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 15}{36}\right) = 1,05 \text{ см.}$$

Принято  $k_f = 11$  мм, что не противоречит требованиям таблицы 39 [1].

Нижний монтажный узел. При жестком сопряжении ригеля с колонной (рисунок 3.5, а) расчетными элементами являются: сварной шов, соединяющий фасонку с опорным листом, болты, опорный лист и опорный столик.

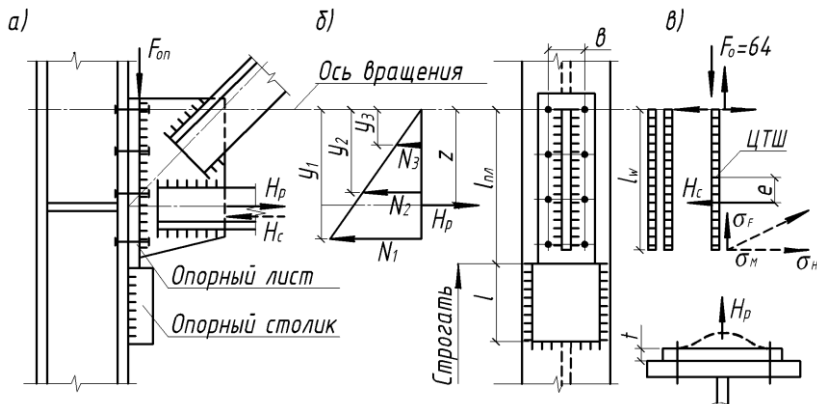


Рисунок 3.5 – Нижний монтажный узел

Сварной шов рассчитывают на сжимающее усилие  $H_c$ , опорное давление  $F_{оп}$  и изгибающий момент  $M = H_c e$ , где  $e$  – эксцентриситет силы  $H_c$ . Толщину шва определяют из условия прочности сварного шва (см. рисунок 3.5, в)

$$\frac{\sqrt{\sigma_F^2 + (\sigma_N + \sigma_M)^2}}{f_{wf} \gamma_c} \leq 1,$$

откуда после преобразований

$$k_f = \frac{\sqrt{F_{оп}^2 + \left(H_c + 6H_c \frac{e}{l_w}\right)^2}}{2\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.12)$$

Сжимающее усилие в поясе

$$H_c = \frac{M}{h_0} + N_{cc'}, \quad (3.13)$$

где  $M$  – величина отрицательного опорного момента в ригеле;  $h_0$  – расстояние между поясами фермы на опоре;  $N_{cc'}$  – нормальная сила в ригеле, соответствующая моменту  $M$ .

Болты рассчитывают на внецентренное растяжение усилием  $H_p$ , которое вычисляют по формуле (3.13), но по наибольшему положительному моменту в опорном сечении и соответствующей ему нормальной силе в ригеле. Несущую способность болтового соединения проверяют по формуле

$$N_1 = \frac{M y_1}{2 \sum y_i^2} \leq f_{bt} A_{bn}, \quad (3.14)$$

где  $M = H_p z$ ;  $y_1, y_i$  – расстояния от оси вращения до болтов (см. рисунок 3.5, б).

Опорная планка, защемленная болтами, работает на изгиб от растягивающей силы  $H_p$ . Толщина планки

$$t = \sqrt{\frac{3bH_p}{4l_{пл} f_{yd} \gamma_c}} \geq 20 \text{ мм},$$

где  $b$  – расстояние между осями болтов;  $l_{пл}$  – высота опорной планки.

Помимо этого, торец опорной планки, передающей опорное давление фермы, необходимо проверить на смятие:

$$\frac{F_{оп}}{A_p f_p \gamma_c} \leq 1, \quad (3.15)$$

где  $A_p$  – площадь смятия торца опорной планки;  $f_p$  – расчетное сопротивление торцевой поверхности (таблица А.6 [1]).

Опорный столик рассчитывают на срез опорным давлением  $1,5F_{оп}$ . При заданной длине столика  $l = 200...300$  мм легко установить суммарную длину шва. Тогда катет шва

$$k_f = \frac{1,5 F_{оп}}{\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c}. \quad (3.16)$$

### 3.3 Расчет и конструирование узлов ферм из круглых труб и гнутосварных профилей

При проектировании промежуточных и опорных узлов ферм из круглых труб возможно решение крепления раскосов решетки к поясам нецентрированно (рисунок 3.6, а, б) и центрированно (см. рисунок 3.6, в–д).

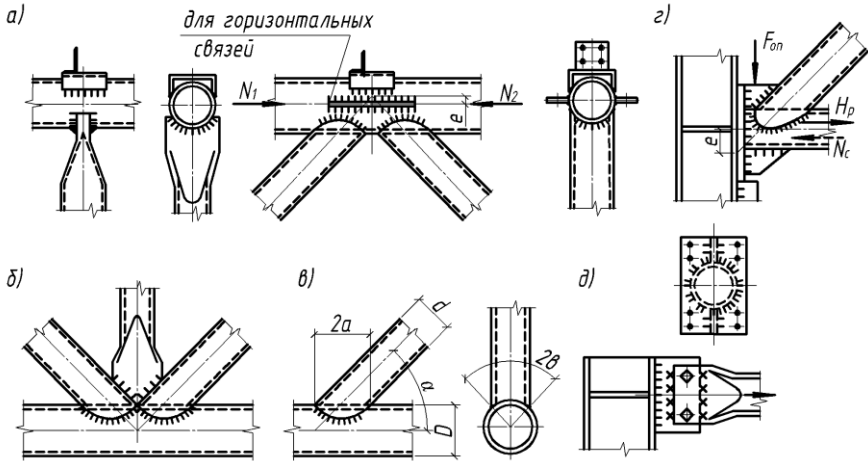


Рисунок 3.6 – Узлы ферм из круглых труб

При центрировании раскосов поверхности труб решетки в некоторых узлах могут пересекаться, и соединение становится нетехнологичным, так как необходимы дополнительные трудозатраты на приторцовку труб. В таких случаях допускают расцентровку стержней (см. рисунок 3.6, а, б), что позволяет рассредоточить сварные швы и уменьшить сварочные напряжения.

Величину эксцентриситета, достигающую 50–80 мм, указывают на узлах и геометрической схеме. Возникающий момент  $M = e(N_2 - N_1)$  распределяют между стержнями узла прямо пропорционально их погонным жесткостям ( $i = I/l$ ). Иногда их распределяют поровну лишь между поясами, как более жесткими элементами узла. При наличии момента стержни фермы проверяют на внецентренное сжатие (растяжение).

По верхнему поясу в местах передачи нагрузки приваривают отрезки швеллеров, которые усиливают узел и служат опорой прогонов. Концы стоек решетки сплющивают и обрезают по необходимому профилю. Крепление связей осуществляют через планки, приваренные к поясам фермы в узле (см. рисунок 3.6, а). Ферма в целом должна быть герметичной во избежание коррозии внутренних поверхностей труб.

Точный расчет соединений трубы с трубой является сложным, так как напряжения по длине шва распределяются неравномерно и зависят от толщины стенок, угла наклона и диаметров сопрягаемых труб. При этом толщина шва и его форма изменяются по периметру пересечения труб. Катет шва для крепления раскосов к поясной трубе рассчитывают на усилие в раскосе  $N$  по приближенной формуле. С учетом условия (3.1)

$$k_f = \frac{N}{0,85\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c} \leq 1,2 t_{\min}, \quad (3.17)$$

где 0,85 – коэффициент условия работы сварного шва;  $l_w$  – длина шва, равная периметру пересечения труб в узле (см. рисунок 3.6, з), определяемая по формуле

$$l_w = a + b + 3\sqrt{a^2 + b^2}, \quad (3.18)$$

где

$$a = \frac{d}{2 \sin \alpha}; \quad b = \frac{d \varepsilon}{2}.$$

Для пересечения трубы с плоскостью коэффициент  $\varepsilon = 1$ , для пересечения трубы с трубой

$$\varepsilon = \frac{3 - (d/D)^2}{2 - (d/D)^2}.$$

**Пример 3.5.** Раскос из круглой электросварной трубы размерами 83×3 мм, сжатый силой 120 кН, примыкает под углом 45° к поясной трубе размерами 159×4,5 мм. Материал конструкции – сталь С255,  $\gamma_c = 1$ . Расчетные характеристики для механизированной сварки:  $f_{wc} = 165$  МПа,  $\beta_c = 1,05$ ;  $f_{wf} = 180$  МПа;  $\beta_f = 0,9$ . Определить катет шва для крепления раскоса.

*Решение.* Расчетным является сечение по металлу шва. Используя обозначения на рисунке 3.6 и формулы подразд. 3.3, находим параметры шва: при  $d/D = 83/159 = 0,52$ ;  $\varepsilon = (3 - 0,52)/(2 - 0,52) = 1,6$ .

Длина шва  $l_w = 5,84 + 6,64 + 3 \cdot \sqrt{5,84^2 + 6,64^2} = 39$  см.

Катет шва  $k_f = \frac{120 \cdot 10}{0,85 \cdot 0,9 \cdot 39 \cdot 180 \cdot 1} = 0,22$  см  $\leq 1,2 \cdot 0,3 = 0,36$  см.

Согласно таблице 39 [1] принято  $k_f = 3$  мм.

Укрепительные стыки верхнего пояса могут быть осуществлены на болтах с центрирующей прокладкой или с помощью объемной фасонки в виде поковки из трубы, позволяющей использовать ее как подкладное кольцо при сварке (рисунок 3.7, а). При надлежащей подгонке деталей узла такое соединение можно считать стыковым, и для сжатых элементов его не рассчитывают.

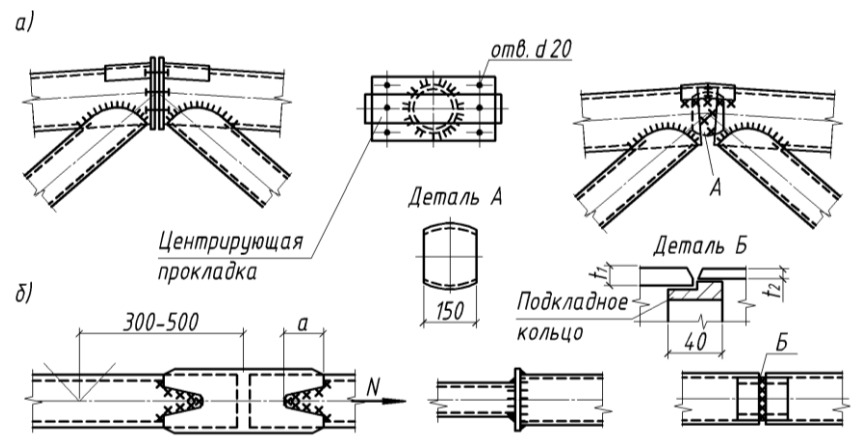


Рисунок 3.7 – Нижний укрупнительный стык полуферм

При болтовом соединении сжимающие усилия передаются через планку, а болты воспринимают сдвигающие усилия.

Нижний укрупнительный стык полуферм (см. рисунок 3.7, б) выполняют фланцевым или с помощью кольцевых фигурных накладок из гнутого листа или трубы толщиной на 20 % больше толщины стенок поясной трубы. Прочность стыка проверяют на расчетное усилие в панели фермы по условию

$$\frac{N}{k_f \beta_f l_w f_{wf} \gamma_c} \leq 1.$$

Длину фигурного сварного шва по одну сторону от стыка приблизительно определяют по формуле

$$l_w = 2n \sqrt{a^2 + \left(\frac{\pi D}{2n}\right)^2},$$

где  $a$ ,  $n$  – глубина выреза (см. рисунок 3.7, б) и число лепестков, обычно  $n = 4$ .

Промежуточные стыки сжатых поясных труб разных диаметров (см. рисунок 3.7, б) могут быть выполнены с помощью угловых сварных швов через прокладку. Прочность стыка проверяют по меньшему диаметру трубы по формуле

$$\frac{N}{(k_f \beta_f l_w f_{wf} \gamma_c \pi d)} \leq 1.$$

Стыки труб одинакового диаметра выполняют стыковой сваркой на подкладном кольце. Если сталь при сварке не разупрочняется, то такой стык не рассчитывают.

Болты и сварные швы в верхнем монтажном узле (см. рисунок 3.6, д) рассчитывают на растягивающее усилие в поясе по аналогии с узлами ферм из уголков. Растягивающее усилие в верхнем поясе следует передавать на колонну без эксцентриситета, тогда в элементах соединений не будет возникать напряжений от момента. Болты, например, в этом случае будут рассчитываться по формуле без учета момента (см. пример 3.3).

Нижний монтажный узел (см. рисунок 3.6, б) может быть решен без фансонок с приваркой к опорному листу. Крепление поясной трубы к опорному листу рассчитывают на наибольшее растягивающее или сжимающее усилие, вычисляемое по формуле (3.13). Элементы узла здесь рассчитывают так же, как и в ферме из уголков по формулам (3.12)–(3.16).

Фермы из гнutosварных (замкнутых) прямоугольных профилей проектируют аналогично трубчатым фермам. Соединения стержней в узлах бесфасоночные, возможна расцентровка раскосов в узлах (рисунок 3.8). Верхний пояс в местах передачи нагрузки усиливают листовой накладкой, необходима герметичность соединений.

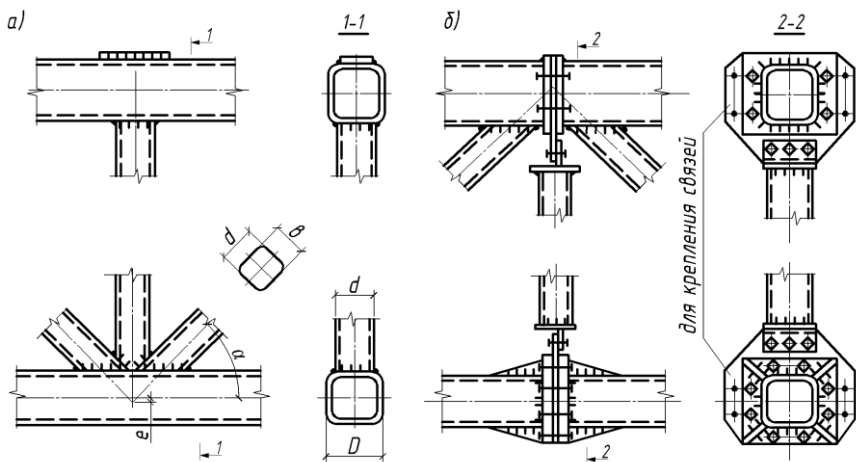


Рисунок 3.8 – Промежуточный (а) и укрупнительный (б) узлы ферм из прямоугольного профиля

В промежуточном узле катет шва, соединяющего раскос с поясом (см. рисунок 3.8, а), определяют по формуле (3.17). При этом длина шва определяется из выражения

$$l_w = 2 \left[ \frac{d + b}{\sin \alpha} \right]. \quad (3.19)$$

Пояса ферм в местах примыкания к ним раскосов могут продавливаться (рисунок 3.9). Несущая способность узлов на продавливание (вырывание) на основе действительной работы узлов и характера их разрушения рассмотрена в СП 16.13330–2017 [4]. В результате экспериментального исследования большого количества образцов для двух типов узлов были получены выражения для предельной силы  $P$ , действующей на пояс со стороны раскоса как функция размеров элементов узла, т. е.  $P = f(c, f, D, t, a)$ .

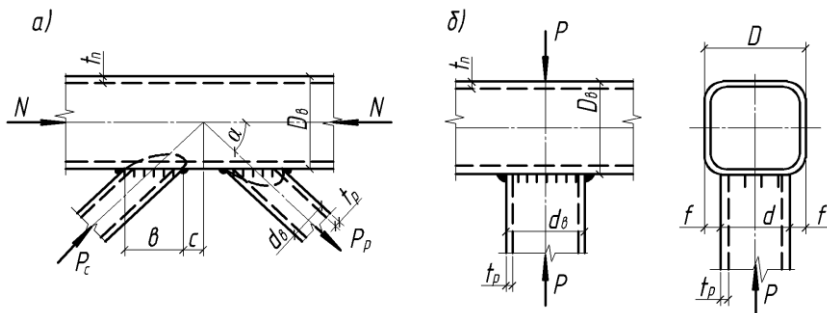


Рисунок 3.9 – Пояса ферм в местах примыкания раскосов

Для К-образных узлов (см. рисунок 3.9, а) при  $C > 0$  и  $d/D > 0,6$  несущую способность пояса на продавливание определяют из выражения

$$P = \frac{f_{yd} t_n^2 (b + c + \sqrt{2Df})}{f \left( 0,4 + 1,8 \frac{c}{b} \right) \sin \alpha} \quad (3.20)$$

Для Т-образных (см. рисунок 3.9, б) и К-образных узлов при  $f/D > 0,25$  несущую способность пояса на продавливание устанавливают по формуле

$$P = \frac{f_{yd} t_n d_b + 8\sqrt{Df}}{f} \quad (3.21)$$

Если отношение  $f/D < 0,1$ , т. е. мало, определение силы  $P$  по этим формулам теряет смысл, потому что  $f \rightarrow 0$ ,  $P \rightarrow \infty$ . В таких случаях разрушение узла возможно от выпучивания вертикальной стенки пояса, и силу  $P$  для обоих типов определяют из выражения

$$P = m \frac{2nf_{yd} t_n d_b}{\sin^2 \alpha}, \quad (3.22)$$

где  $n = 0,8$  при  $d_b/t_n$ , в других случаях  $n = 1$ .

В приведенных выражениях  $m$  учитывает снижение несущей способности стенки пояса в зоне узла при наличии продольного усилия.

При  $\beta = N/f_{yd}A > 0,5$  ( $N$  – усилие в поясе со стороны растянутого раскоса,  $A$  – площадь сечения раскоса), коэффициент  $m = 1,5 - \beta$ , при  $\beta \leq 0,5$  принять  $m = 1$ .

Несущая способность узла на продавливание будет обеспечена, если расчетное усилие в раскосе  $N_p$  будет меньше или равно силе  $P$ :

$$N_p \leq P. \quad (3.23)$$

**Пример 3.6.** Для К-образного узла определить силу  $P$ , продавливающую пояс, при следующих данных (см. рисунок 3.9, а): размеры поясного квадратного профиля  $D \times t = 140 \times 4$  мм ( $A = 21,7$  см<sup>2</sup>), размеры профиля раскоса –  $d \times t = 100 \times 3$  мм ( $A = 11,6$  см<sup>2</sup>). Сжимающее усилие в раскосе  $N_r = 172$  кН, в поясе  $N_f = 392$  кН, расчетное сопротивление стали  $f_{yd} = 240$  МПа, угол  $\alpha = 45^\circ$ ,  $C = 10$  мм,  $f = (14 - 10)/2 = 2$  см,  $b = 14$  см.

*Решение.* Коэффициент  $m = 1$ . Поскольку  $C > 0$  и  $d/D = 10/14 = 0,7 > 0,6$ ,

то продавливающая сила  $P = \frac{240 \cdot 0,4^2 \cdot (14 + 1 + \sqrt{2 \cdot 14 \cdot 2})}{2 \cdot \left(0,4 + \frac{1,81}{14}\right) \cdot 0,71 \cdot 10} = 115$  кН.

Условие прочности узла на продавливание не выполняется:  $N_p > P$  (172 кН > 115 кН).

Для обеспечения прочности узла на продавливание достаточно толщину пояса увеличить до 5 мм или сечение раскоса принять  $120 \times 3$  мм. При этом  $f = (14 - 12)/2 = 1$  см и  $f/D < 0,1$ . Продавливающую силу следует проверить по формуле (3.22).

Монтажные узлы конструктивно выполняют и рассчитывают, как и узлы ферм из труб, т. е. на фланцах с использованием болтов грубой и нормальной точности.

Укрупнительные узлы наиболее целесообразно выполнять на фланцах. Толщина шва для прикрепления фланца к профилю

$$k_f = \frac{N}{\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c} \leq 1,2 t,$$

где  $l_w$ ,  $t$  – длина шва и толщина стенки профиля.

Если сварного шва недостаточно, используют элементы усиления (см. нижний узел на рисунке 3.8, б).

Растягивающее усилие в нижнем поясе передается болтам нормальной точности соответствующего класса прочности или высокопрочными. Число болтов на узел

$$n = \frac{N}{A_{bn} f_{bt} \gamma_c}.$$

Толщину фланца проверяют на прочность при изгибе и на разрыв.



### 3.4 Расчет и конструирование узлов ферм из тавров и двутавров с параллельными гранями полок. Монтажные узлы балочных ферм

В промежуточных узлах фасонки к поясам прикрепляют встык с разделкой кромок. По технологическим соображениям целесообразно концы уголков смещать вдоль раскоса так, чтобы один конец уголка (например, в верхнем узле) крепился к фасонке и тавру (рисунок 3.10), а второй – лишь к фасонке. Возможно исполнение ферм и без относительной сдвигки уголков.

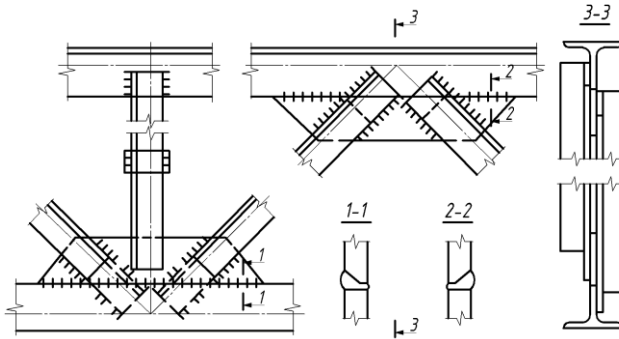


Рисунок 3.10 – Промежуточный узел фермы из двутавра

Стыковая приварка фасонки, выполненная с разделкой кромок и подваркой шва, считается равнопрочной основному металлу, поэтому эти швы не рассчитывают. Крепление каждого конца уголка к фасонке рассчитывают на половину усилия в раскосе. При этом, как и в фермах из уголков (см. подразд. 3.2), должна быть обеспечена безмоментная работа соединения. Очертания стыковой фасонки устанавливают по длинам сварных швов раскосов.

Конструкция и расчет верхнего и нижнего монтажных узлов (рисунок 3.11, а) аналогична конструкции монтажных узлов уголкового ферм (см. подразд. 3.2 и рисунок 3.5).

Стойки решетки приваривают непосредственно к верхнему поясу, без фасонки. Стык профилей (см. рисунок 3.11, б) устраивают вне узла с обеспечением плавного перехода между профилями.

**Пример 3.7.** Рассчитать нижний монтажный узел для второй группы конструкций (см. рисунок 3.11, а), если опорное давление  $F_{оп} = 860$  кН, сжимающее усилие в нижнем поясе  $H_c = 340$  кН, растягивающее  $H_p = 200$  кН. Сталь С345 с характеристиками прочности  $f_{yd} = 300$  МПа;  $f_{uk} = 460$  МПа;  $f_p = f_{uk}/\gamma_m = 460/1,025 = 449$  МПа. Расчетные характеристики сварных соединений:  $f_{wf} = 180$  МПа;  $f_{wz} = f_{uk} \cdot 0,45 = 400 \cdot 0,45 = 207$  МПа. Коэффициенты формы шва для автоматической сварки (таблица 40 [1]):  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ . Болты грубой точности диаметром 20 мм,  $A_{bm} = 2,45$  см<sup>2</sup>; класс прочности болтов 5.6, расчетное сопротивление растяжению  $f_{bt} = 225$  МПа (таблица Г.5 [1]).

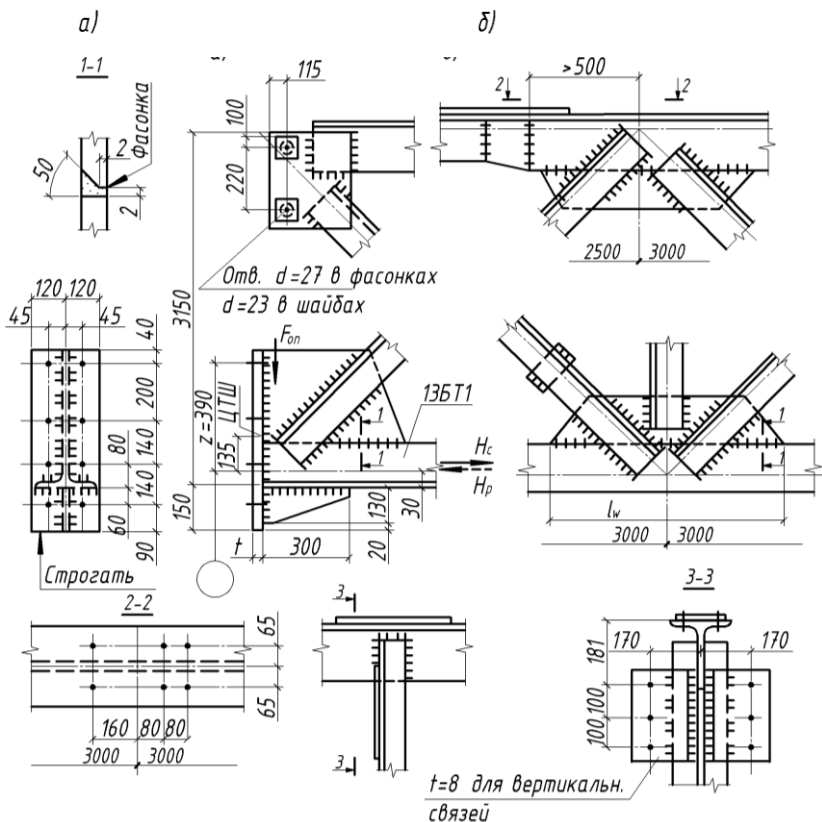


Рисунок 3.11 – Стык профилей в узле

*Решение.* Рассчитываем сварные швы, соединяющие опорную фасонку с опорным листом. При заданной длине вертикальных швов  $l_w = 590$  мм определим катет шва по формуле (3.12). Из рисунка 3.11, а эксцентриситет силы относительно ЦТШ  $e = 13,5$  см. Поскольку выполняется условие (3.1), то расчет ведем по металлу шва по формуле (3.12)

$$k_f = \frac{10\sqrt{860^2 + (340 + 6 \cdot 340 \cdot 13,5 / 59)^2}}{2 \cdot 0,9 \cdot 59 \cdot 180 \cdot 1} = 0,62 \text{ см. Принято } k_f = 7 \text{ мм, что}$$

удовлетворяет требованиям таблицы 39 [1] для полуавтоматической сварки.

Расчет болтов производим на момент  $M = 200 \cdot 0,39 = 78 \text{ кН м}$ , где  $0,39$  – расстояние от растягивающей силы до оси вращения. Наибольшее растягивающее усилие в болте  $N_1 = \frac{78 \cdot 0,48}{2 \cdot (0,48^2 + 0,34^2 + 0,2^2)} = 48,5 \text{ кН.}$

Несущая способность одного болта  $N_b = f_{bt} A_{bn} = 225 \cdot 2,45 \cdot 10^{-1} = 55,1 \text{ кН}$ .

Несущая способность болтового соединения обеспечена, так как  $N_1 < N_b$ ;  $48,5 \text{ кН} < 55,1 \text{ кН}$ .

Необходимая толщина опорной планки при работе ее на изгиб

$$t = \sqrt{\frac{10 \cdot 3 \cdot 0,09 \cdot 200}{4 \cdot 0,61 \cdot 300 \cdot 1}} = 0,86 \text{ мм. Принята толщина планки } t = 20 \text{ мм.}$$

Прочность опорной планки на смятие определяем по формуле (3.15)

$$\frac{F_{\text{оп}}}{A_p} = \frac{860 \cdot 10}{2 \cdot 24} = 179 \text{ МПа} < f_p \gamma_c = 449 \text{ МПа.}$$

Укрупнительные узлы ферм – верхний и нижний – по конструкции аналогичны и могут быть выполнены с помощью накладок как на сварке, так и на высокопрочных болтах. Конструкция укрупнительных узлов показана на рисунке 3.12.

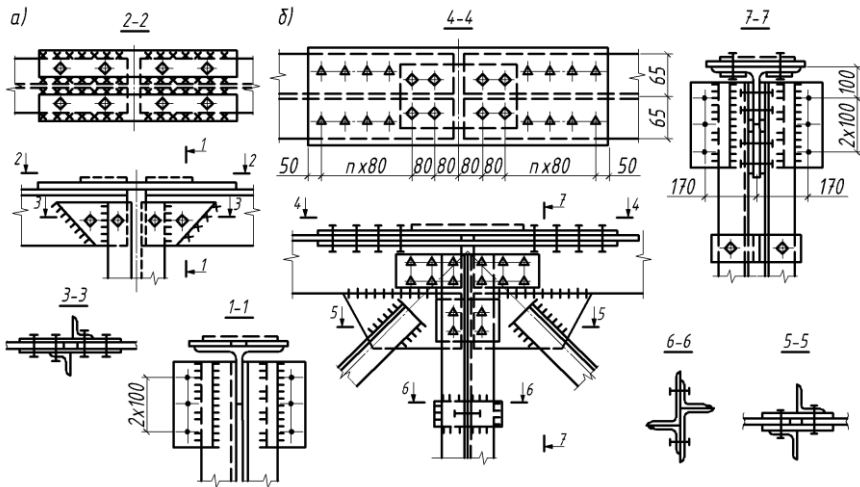


Рисунок 3.12 – Конструкция укрупнительных узлов

При расчете сварного или болтового соединения усилие в поясе между полкой  $N_f$  и вертикальной стенкой  $N_w$  распределяют прямо пропорционально площади сечения полки  $A_f$  и стенки  $A_w$ :

$$N_f = \frac{N A_f}{A}, \quad (3.24)$$

где  $A$  – площадь сечения элемента.

Сварные швы или высокопрочные болты по одну сторону от стыка, а также сечение накладок рассчитывают соответственно на усилия  $N_f$  и  $N_w$ , увеличенные на 20 %. Так, при расчете двух косых швов вертикальной стенки тавра (см. рисунок 3.12, а) используют условие

$$\frac{1,2 N_w}{2 k_f \beta_f l_w f_{wf} \gamma_c \pi d} \leq 1.$$

Число высокопрочных болтов, имеющих две плоскости трения, при расчете стыка горизонтальной полки (см. рисунок 3.12, б) определяется из выражения

$$n \geq \frac{1,2 N_f}{2 Q_{bh} \gamma_c}, \quad (3.25)$$

где  $Q_{bh}$  – несущая способность одного высокопрочного болта одной плоскости трения.

Фермы из двутавров с параллельными гранями полок ввиду большой мощности профилей рациональны при больших нагрузках, например, в покрытиях с применением железобетонных плит. Элементы решетки в таких фермах целесообразно выполнять из гнутых прямоугольных профилей, за исключением опорных раскосов, где возможно применение и широкополочных двутавров.

Промежуточные узлы ферм исполняют без фасонки, но полки двутавра для увеличения их жесткости от изгиба усиливают наклонными косынками (рисунок 3.13, а).

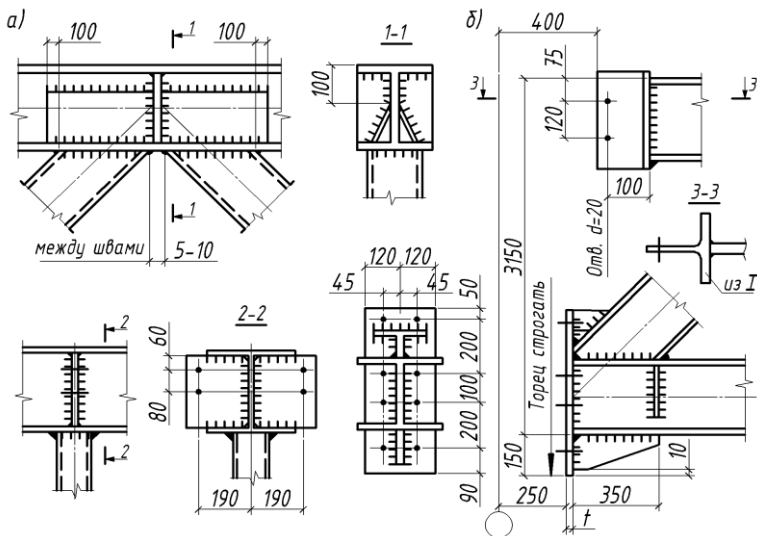


Рисунок 3.13 – Конструктивные детали узлов ферм

Катет шва для прикрепления раскоса к поясу рассчитывают на усилие в раскосе  $N$ . С учетом условия (3.1)

$$k_f = \frac{N}{\beta_f l_w f_{wf} \gamma_c} \leq 1,2 t_{\min},$$

где  $l_w$  – полная длина шва;  $t$  – толщина стенки профиля раскоса.

На рисунке 3.13, *a* показаны некоторые конструктивные детали узлов ферм. Наклонные элементы усиления полок двутавров заводят за грани сварных швов на 100 мм. При наличии железобетонных плит в центре узла устраивают поперечные ребра, которые усиливают полку. Их используют для крепления вертикальных связей.

Монтажные узлы ферм проектируют фланцевыми с использованием опорных столиков и болтов нормальной точности при работе их на растяжение. Конструкция опорных деталей фермы (см. рисунок 3.13, *б*) позволяет это реализовать. Работа и расчет рассматриваемых узлов аналогичны монтажным узлам ферм из уголков, тавров, труб (см. подразд. 3.2–3.4).

Укрупнительные узлы ферм – верхний и нижний – целесообразно выполнять на фланцах [10, 11], так как болтовые сдвигоустойчивые соединения, особенно для растянутых стыков, весьма материалоемки (рисунок 3.14). Проектирование этих стыков рассмотрено более подробно в подразд. 3.5.

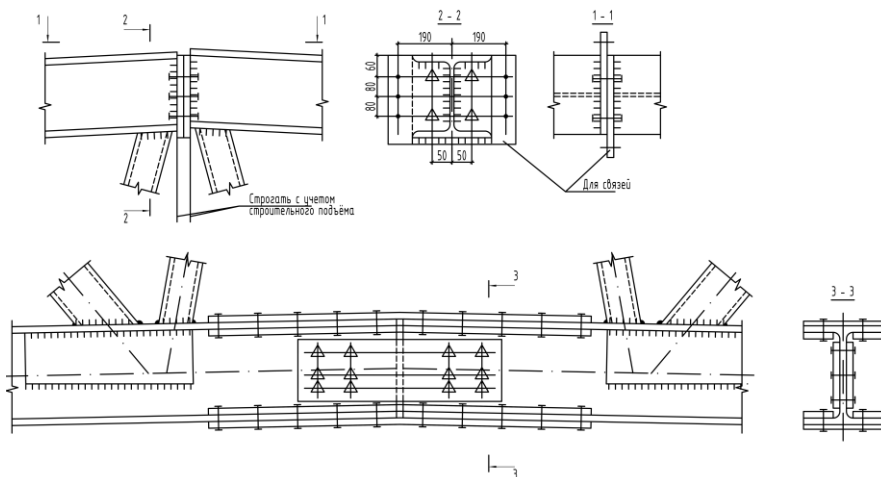


Рисунок 3.14 – Укрупнительные узлы балочных ферм на высокопрочных болтах

Если промежуточные и укрупнительные узлы балочной фермы из любых профилей проектируют так же, как и узлы с жестким сопряжением их с колонной, то монтажные узлы в балочных фермах решаются несколько иначе. Их конструкция должна обеспечить передачу опорного давления на железо-

бетонную или стальную колонну (рисунок 3.15, а). Для этого оголовок железобетонной колонны имеет закладную деталь соответствующей толщины, а в стальных колоннах давление от опорного листа фермы передается на опорный столик (см. рисунок 3.15, б) или на полку колонны (см. рисунок 3.15, в). Опирание стропильных ферм необходимо обеспечить через опорное ребро по всей его площади, избегая местной передачи давления.

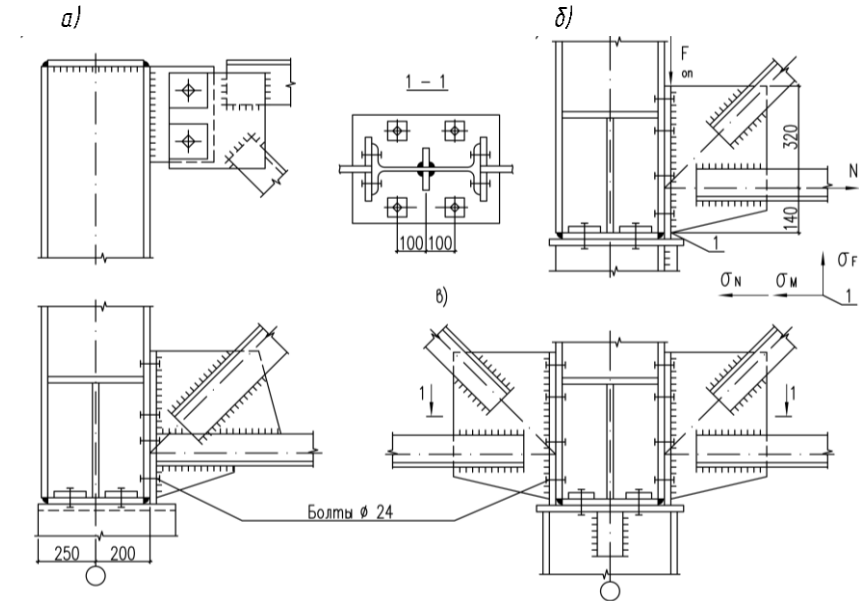


Рисунок 3.15 – Монтажные узлы балочных ферм

Площадь сечения опорного листа устанавливается из условия прочности на смятие, торец листа фрезеруется. При помощи восьми болтов грубой точности диаметром 24 мм к торцу фермы прикрепляется опорная стойка для крепления к ней стеновых панелей. В данном узле помимо опорного ребра рассчитывают сварные швы, соединяющие опорный лист с опорной фасонкой. Их расчет производят на опорное давление и растягивающее усилие в нижнем поясе.

**Пример 3.8.** Рассчитать нижний монтажный узел балочной фермы, если опорное давление  $F_{оп} = 980$  кН, растягивающее усилие в нижнем поясе  $N = 540$  кН. Материал конструкции – сталь марки С225:  $f_{y\delta\gamma c} = 240$  МПа,  $f_p = 391$  МПа (таблица А.6 [1]). Характеристики прочности сварных швов для механизированной сварки:  $f_{wf} = 180$  МПа;  $f_{wz} = 166,5$  МПа; коэффициент формы шва (таблица 40 [1])  $\beta_f = 0,9$ ;  $\beta_z = 1,05$ .

*Решение.* Расчетными элементами шва являются площадь торца опорного листа и сварные швы, соединяющие опорный лист с фасонкой. Торец опорного листа работает на смятие. Условие прочности –  $\frac{F_{\text{оп}}}{A f_p \gamma_c} \leq 1$ , откуда площадь

$$A = \frac{F_{\text{оп}}}{f_p \gamma_c} = 980 \cdot 10 / 361 = 27,1 \text{ см}^2.$$

Принято сечение опорного листа  $20 \times 200$  с учетом размещения болтов.

Сварные швы работают на срез от опорного давления  $F_{\text{оп}} = 980$  кН, растягивающего усилия  $N = 540$  кН и изгибающего момента  $M = Ne = 540 \cdot 0,09 = 48,6$  кН·м. Расчетным является сечение по металлу шва. Условие прочности

для нижней более напряженной точки  $\frac{\sqrt{\sigma_F^2 + (\sigma_N + \sigma_M)^2}}{f_{wf} \gamma_c} \leq 1$ , откуда после пре-

$$\text{образования получим } k_f = \frac{\sqrt{F^2 + \left( N + 6 \cdot \frac{M}{l_w} \right)^2}}{2 \beta_f l_w f_{wf} \gamma_c} = \frac{10 \cdot \sqrt{980^2 + 6 \cdot \frac{48,6}{0,46^2}}}{2 \cdot 0,9 \cdot 46 \cdot 180 \cdot 1} = 1,03 \text{ см.}$$

Принимаем  $k_f = 11$  мм.

### 3.5 Фланцевые соединения в укрупнительных узлах ферм

В мировой практике фланцевые соединения признаны весьма эффективными, так как заметно ускоряют монтаж конструкций. Их особенность состоит в том, что фланцевый стык имеет малую протяженность вдоль стержня, но должен быть равнопрочным с основным сечением элемента. Это достигается за счет жесткости узла, которая зависит от толщины фланца, схемы расстановки болтов и их предварительного напряжения. Фланцы к поясам должны привариваться без элементов усиления (ребер), за исключением трубчатых профилей, где они иногда нужны. Несмотря на простоту конструкции узлов на фланцах, их расчет весьма громоздок ввиду сложности и неопределенности работы соединения.

Фланцевые соединения растянутых элементов выполняются на высокопрочных болтах только с предварительным напряжением. Такие соединения могут воспринимать местные поперечные усилия за счет сопротивления сил трения между контактирующими поверхностями фланцев от предварительного натяжения болтов.

Фланцевые соединения сжатых или сжато-изогнутых элементов при однозначной эпюре сжимающих напряжений выполняют на высокопрочных болтах без предварительного натяжения. Такие соединения могут воспринимать сдвигающие усилия за счет сопротивления сил трения между контактирующими поверхностями фланцев.

В рекомендациях по расчету фланцевых соединений (приложение 1 [3]) приведены сортаменты фланцевых соединений растянутых элементов открытого профиля: широкополочные двутавры и тавры, парные уголки; замкнутого профиля – круглые трубы, изгибаемых элементов из широкополочных двутавров.

Конструкция сжатых фланцевых укрупнительных стыков ферм показана на рисунке 3.16, а, растянутых – на рисунке 3.16, б.

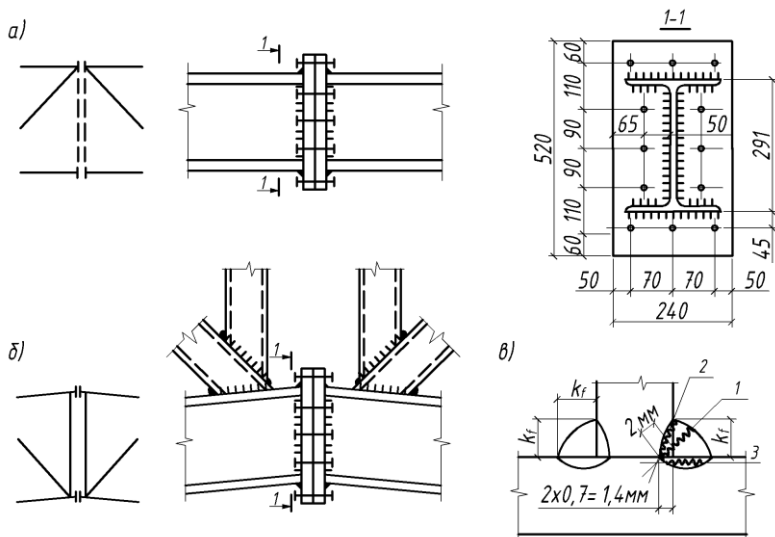


Рисунок 3.16 – Укрупнительные узлы балочных ферм на фланцах

Для фланцев, подверженных растяжению, изгибу или их совместному действию, следует принимать листовую сталь по ГОСТ 19903–2015, ГОСТ 19282–89\* и ТУ 14-105-465–88. Для сжатых элементов фланцы изготавливают из листовой стали по ГОСТ 19903–2015. Материал фланцев подвергается ультразвуковому дефектоскопическому контролю для выявления внутренних расслоений.

Расчетное усилие растяжения болтов фланцевых соединений принимается равным

$$B_p = f_{bh} A_{bn},$$

где  $f_{bh} = 0,7f_{buk}$  – расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта.

Расчетное усилие предварительного натяжения болтов фланцевых соединений принимается равным

$$B_0 = 0,9 B_p = 0,9 f_{bh} A_{bn}.$$



Расчет прочности фланцевых соединений элементов открытого профиля, работающих на центральное растяжение (двутавры, тавры) и подверженных центральному растяжению, заключается в определении количества болтов наружной зоны (полки) и внутренней зоны (стенки).

Количество болтов стенки  $n_b$  определяет конструктивная форма соединения. Количество болтов наружной зоны

$$n_n = \frac{N - n_b N_{вр}}{N_{нп}},$$

где  $N$  – внешняя нагрузка на соединение;  $N_{вр} = 0,9B_p$  – предельное внешнее усилие на один болт стенки;  $N_{нп} = N_{вп}/k$  – предельное внешнее усилие на один болт наружной зоны;  $k$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение нагрузки между болтами стенки и полки и определяемый по таблице 3.1 [3].

Прочность фланца и болтов стенки обеспечена, если болты расположены в соответствии с требованиями (подразд. 4.6 [3]), толщина фланца 20 мм и выше, а усилие на один болт от внешней нагрузки не превышает величины  $N_b \leq N_{вп} = 0,9B_p$ .

Усилие на один болт  $N_i$  ( $i = п$  – полки,  $i = с$  – стенки) для зоны полок двутавра  $N_{п}$  и стенки –  $N_c$  определяют из выражений

$$N_{вр} = \frac{A_f N}{A_{п}} (n_{п} - 1); \quad (3.26)$$

$$N_{нп} = \frac{A_w N}{A_{с}} (n_{с} - 1), \quad (3.27)$$

где  $n_{п}$ ,  $n_{с}$  – число болтов вдоль полки и стенки двутавра;  $A_f$ ,  $A_w$  – площадь сечения двутавра нетто, полки, стенки.

Особенность расчета сварного соединения двутавра с фланцем состоит в том, что его прочность проверяют по трем сечениям (см. рисунок 3.16, в) с учетом глубины проплавления, равной 2 мм. Условия прочности:

– по металлу шва (сечение 1)

$$\frac{N_i}{(k_f \beta_f + 2) l_{wi} f_{wf} \gamma_c} \leq 1; \quad (3.28)$$

– по металлу границы сплавления с профилем (сечение 2)

$$\frac{N_i}{k_f \beta_z l_w f_{wz} \gamma_c} \leq 1; \quad (3.29)$$

– по металлу границы сплавления с фланцем в направлении его толщины (сечение 3)

$$\frac{N_i}{(k_f \beta_z + 1,4) l_{wi} f_{th} \gamma_c} \leq 1, \quad (3.30)$$

где  $N_i$  – усилие в зоне полки и стенки см. формулы (3.25), (3.26);  $l_{wi}$  – полная длина шва полки (стенки) за вычетом 10 мм;  $f_{th}$  – расчетное сопротивление растяжению стали в направлении толщины фланца,  $f_{th} = 0,5f_{yd}$ .

Прочность соединений типа А на сдвиг от действия поперечной силы при  $P_{np}/N_i > 1$  проверяют по формуле

$$Q \leq \mu (B_0 n - N), \quad (3.31)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения, равный 0,25;  $N$  – растягивающее усилие в поясе;  $n$  – число болтов в соединении.

Расчет ведут на расчетную поперечную силу, но не менее  $V \leq 0,1\mu N$ .

Особенности расчета фланцев на этом завершаем.

В приложениях 1–5 [3] приведены основные расчетно-конструктивные данные по сортаменту фланцев для растянутых узлов, изображенных на рисунке 3.16, а, б. В сортаменте даны: марки фланца (например, Ф23-1), номер профиля двутавра, схема фланца, катеты сварных швов по полке ( $k_{fp}$  и стенки  $k_{fc}$ ), толщина фланца, усилия на один болт от продольной силы. Стыки рассчитаны на усилие, равное несущей способности пояса  $V = Af_{yd}\gamma_c$ .

**Пример 3.9.** Подобрать фланец для растянутого укрупнительного стыка нижнего пояса фермы, выполненного из двутавра 30Ш1, стали С345. Расчетное усилие в поясе  $N = 1960$  кН.

*Решение.* По таблице приложения 1 [3] для двутавра 30Ш1 принят фланец. Толщина фланца 30 мм, катет шва пояса  $k_{fp} = 10$  мм, стенки  $k_{fc} = 7$  мм. Расчетная продольная сила 2197 кН.

Фланцевое соединение сжатого пояса осуществляют по схеме, показанной на рисунке 3.17, а, с возможностью крепления вертикальных связей.

**Пример 3.10.** Подобрать фланец для укрупнительного стыка верхнего пояса из двутавра 23К2, сталь С345, расчетное сжимающее усилие  $N = 2028$  кН.

*Решение.* По таблице приложения 1 [3] принят фланец с шестью отверстиями под болты диаметром 24 мм, толщина фланца – 30 мм, сталь С345, катет шва для приварки двутавра к фланцу – 6 мм, расчетная продольная сила  $T = 2274$  кН.

Фланцевые соединения в укрупнительных узлах ферм из трубчатых и тавровых профилей показаны на рисунке 3.17.

Фланцевое соединение для трубчатых профилей, как правило, имеет элементы усиления, поскольку длины кольцевых швов недостаточно. Для уменьшения изгибающего момента во фланце его размеры назначают с учетом минимально допустимого приближения болтов к стенкам профиля. Шаг болтов обычно 60–120 мм. Минимальное число болтов при асимметричном их размещении для растянутого фланца рассчитывают на осевую силу  $N$  в элементе пояса по формуле (3.25). В необходимых случаях число болтов увеличивают для их симметричного размещения по периметру профиля.

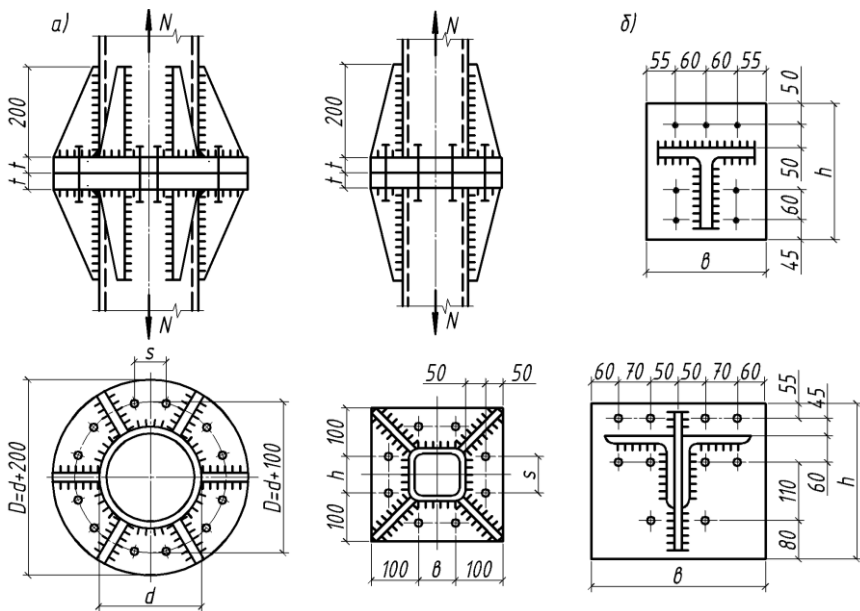


Рисунок 3.17 – Фланцевые соединения в укрупнительных узлах:  
 а – для круглой и квадратной трубы; б – для тавра и уголков

Усилие, приходящееся на один болт,

$$N_b = \frac{N}{n_\phi}, \quad (3.32)$$

где  $n_\phi$  – фактическое число болтов во фланце.

Толщина фланца при работе его на изгиб

$$t = \sqrt{\frac{6\mu}{Sf_{yd}\gamma_c}} \leq 50 \text{ мм},$$

где  $S$  – меньший шаг болтов.

Изгибающий момент

$$M_\phi = N_b z_0,$$

где  $z_0$  – плечо силы – расстояние от центра болта до стенки трубы. Прочность болта проверяют по рекомендациям [3].

Прочность соединения на сдвиг проверяют по формуле (3.31), а сварное соединение проверяют по формулам (3.28)–(3.30) с учетом швов элементов усиления, которых принимают не менее четырех.

В сжатых стыках усилия передаются через фрезерованные торцы, и количество болтов принимают не менее четырех. Конструкции сжатого стыка приведены на рисунках 3.8 и 3.14.

Фланцевые соединения широкополочных тавров профилей элементов усиления не имеют, так как сварного шва по периметру обычно достаточно, а в элементах из уголков они могут быть. При совпадении центров тяжести болтового поля и профиля устанавливают минимальное количество болтов, а усилие, приходящееся на один болт,  $N_b$  – по формуле (3.32), по фактическому числу болтов в соединении. Прочность болта при растяжении проверяют по формулам и рекомендациям [3].

Толщина фланцев при работе на изгиб

$$t = \sqrt{\frac{6\mu}{bf_{yd}\gamma_c}} \leq 50 \text{ мм},$$

где  $b$  – ширина фланца.

Изгибающий момент определяют как в консольной части плиты шириной и нагруженной усилием в болтах (см. рисунок 3.17):

$$M = n_n N_b r,$$

где  $n_n$  – число внешне расположенных болтов вдоль горизонтальной полки тавров;  $N_b$  – усилие, приходящееся на один болт (см. формулу 3.31);  $r$  – плечо силы  $N_b$ , расстояние от оси болтов до стенки профиля, равно обычно 45–50 мм.

Сварные швы, прикрепляющие фланец к профилю, рассчитывают по формулам (3.28)–(3.30). Для ферм уз уголков учитывают швы, прикрепляющие элемент усиления.

Сжатые стыки на фланцах проектируют по аналогии со стыками двутавровых и трубчатых профилей.

#### **4 ЗАДАЧИ К РАСЧЕТУ ЛЕГКИХ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ И ИХ УЗЛОВ**

4.1 Определить графически построением диаграммы Максвелла – Кремоны усилия во всех стержнях фермы. Схема фермы приведена на рисунке 4.1. Исходные данные принять по таблице 4.1. В сегментной ферме верхний пояс принять ломанным.

4.2 Определить аналитически усилия в стержнях, примыкающих к узлу фермы, обозначенному на схеме рисунка 4.1. Номер узла, схема фермы и другие данные принять по таблице 4.1.

4.3 Ферма (см. рисунок 4.1) выполнена из парных уголков. Определить усилия в стержнях фермы, примыкающих к узлу, обозначенному на схеме, и подобрать сечение стержней. Расставить соединительные прокладки. Сталь С345. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.4 Стропильная ферма (см. рисунок 4.1) выполнена из круглых труб. Определить усилия в стержнях фермы, примыкающих к обозначенному на схеме узлу, и подобрать их сечения. Сталь С245. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.5 Для фермы (см. рисунок 4.1) с поясами, выполненными из прокатных швеллеров, и решеткой из парных уголков найти усилия в стержнях, примыкающих к обозначенному узлу, и подобрать сечения стержней. Сталь С345. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.6 Ферма (см. рисунок 4.1) выполнена из замкнутых прямоугольных профилей. Определить усилия в стержнях, примыкающих к обозначенному на схеме узлу фермы, и подобрать сечения стержней. Сталь С255. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.7 В ферме (см. рисунок 4.1) пояса выполнены из тавровых профилей, решетка – из парных уголков. Найти усилия в стержнях, примыкающих к обозначенному узлу фермы, и подобрать сечения стержней. Расставить соединительные прокладки в раскосах. Сталь С390. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.8 Пояса фермы (см. рисунок 4.1) выполнены из двутавров с параллельными гранями полок, решетка – из гнутых профилей квадратного сечения. Определить усилия в стержнях, примыкающих к обозначенному узлу, и подобрать сечения этих стержней. Сталь С345. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.9 Подобрать сечения раскосов из двух уголков и рассчитать сварные швы, прикрепляющие раскосы к фасонке (рисунок 4.2, *a*). Сталь С245. Силы ( $N_1$ ,  $N_2$ ) принять по таблице 4.2. Сварка ручная.

4.10 Фасонка приварена к поясным уголкам  $100 \times 10$  двумя швами  $k_f = 8$  мм (см. рисунок 4.2, *a*) Проверить прочность этих швов от действия узловой  $F$  и сдвигающей  $T = N_2$  сил (принять по таблице 4.2). Сталь С345, сварка ручная.

4.11 Найти усилие в верхнем пояске фермы, выполненного из двух равнополочных уголков  $140 \times 9$ , и проверить прочность его прикрепления к фасонке четырьмя швами (см. рисунок 4.2, *b*). Катет шва по перу – 6 мм, по обуху – 8 мм. Сталь С345, сварка ручная, сила  $N_2$  (принять по таблице 4.2).

4.12 Определить усилие в нижнем поясе фермы, подобрать уголки и рассчитать их прикрепление к фасонке (см. рисунок 4.2, *в*). Сталь С345, сварка ручная, сила  $N_2$  (принять по таблице 4.2).

4.13 Определить катеты поясных швов, которыми фасонка (см. рисунок 4.2, *г*) приведена к поясным уголкам  $2 \perp 125 \times 8$ . Сталь С255, сварка ручная. Исходные данные принять по таблице 4.2.

4.14 Определить катет швов, прикрепляющих фасонку ручной сваркой к поясной трубе размерами 127×4 мм (см. рисунок 4.2, *д*). Исходные данные принять по таблице 4.2. Сталь С345, сварка полуавтоматическая.

4.15 Определить катет сварных швов, соединяющих фасонку с опорным листом фермы (см. рисунок 4.2, *д*). Сварка ручная, электроды Э42. Сталь С345. Значение  $N_2$  принять по таблице 4.2.

4.16 В трубчатой ферме раскосы примыкают к поясной трубе без фасонки (см. рисунок 4.2, *е*). Рассчитать прикрепление растянутого раскоса к трубе, определив предварительно сечение пояса и раскоса. Расчетная длина пояса – 3,0 м, раскосов – 4,2 м. Сталь С255. Сварка ручная. Значение сил принять по таблице 4.2.

4.17 Определить катет поясных швов, которыми фасонка (см. рисунок 4.2, *ж*) приварена к поясным уголкам 2L 100×10 двумя швами. Исходные данные принять по таблице 4.2. Сталь С345, сварка ручная.

4.18 Проверить прочность сварных швов, прикрепляющих фасонку к поясной трубе (см. рисунок 4.2, *з*). Катет швов 6 мм, сварка ручная. Размеры сечения трубы – 152×4 мм. Исходные данные принять по таблице 4.2.

4.19 Стык поясных уголков 2L 100×8 выполнен сваркой с уголковыми накладками (см. рисунок 4.2, *и*). Рассчитать сварное соединение пояса. Сталь С255. Сварка ручная. Исходные данные принять по таблице 4.2.

4.20 Определить усилия в стержнях фермы (см. рисунок 4.2, *б*), примыкающих к углу, обозначенному на схеме. По большему усилию подобрать сечение пояса и сечения сжатого и растянутого раскосов. Сконструировать узел фермы, предварительно рассчитав крепление раскосов к фасонке и катет поясного шва. Ферма выполнена из уголков, сталь С345, сварка полуавтоматическая. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.21 Определить усилия в стержнях узла фермы (см. рисунок 4.1). По большему усилию подобрать сечение пояса и раскосов. Сконструировать узел фермы, предварительно рассчитав прикрепление раскосов к фасонке и катет поясного шва. Пояса фермы выполнены из прокатных швеллеров, решетка – из уголков. Сталь С345. Сварка полуавтоматическая. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.22 Вычислить усилия в стержнях узла фермы (см. рисунок 4.1). По большему усилию в поясе подобрать его сечение и сечения раскосов. Сконструировать узел фермы, предварительно рассчитав прикрепление раскосов к поясам. Ферма выполнена из замкнутых гнутых профилей квадратного сечения. Сталь С245, сварка полуавтоматическая. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.23 Найти усилия в стержнях узла фермы (см. рисунок 4.1). По большему усилию в поясе подобрать его сечение и сечения раскосов. Сконструировать узел фермы, предварительно рассчитав прикрепление раскосов к поясам. Пояса фермы выполнены из прокатных тавров, решетка – из парных уголков. Сталь С390. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.24 Определить усилия в стержнях узла фермы (см. рисунок 4.1). По большему усилию в поясе подобрать его сечение и сечения раскосов. Сконструировать узел, предварительно рассчитав крепление раскосов к поясу. Пояса фермы выполнены из двутавров с параллельными гранями, решетка – из гнутых замкнутых квадратных профилей. Сталь С345. Сварка полуавтоматическая. Исходные данные принять по таблице 4.1.

4.25 Верхний стык полуферм из двутавров с параллельными гранями полок выполнен на фланцах, соединение типа Б (рисунок 4.2, *к*). Сжимающие усилия в верхнем поясе  $N_b = 2N_2$ , длина пояса – 3 м. Подобрать двутавр из условия устойчивости пояса и выбрать тип фланца. Рассчитать сварные швы, соединяющие фланец с элементом пояса. Изобразить схему фланца. Сталь С375. Значение  $N_2$  принять по таблице 4.2.

4.26 Нижний стык полуферм из двутавров с параллельными гранями полок выполнен фланцевым (см. рисунок 4.2, *к*). Растягивающее усилие  $N_n = 2N_2$ . Подобрать сечение двутавра из стали С345 и по сортаменту назначить фланец. Произвести расчет фланца на отрыв и проверить катет шва, соединяющего фланец с двутавром. Изобразить схему узла. Значение  $N_2$  принять по таблице 4.2.

4.27 Подобрать сечение нижнего пояса из гнутых швеллеров и вычислить напряжения в панелях (см. рисунок 4.2, *л*) с учетом и без учета узлового момента. Узловой момент распределить между поясами поровну. Сравнить результаты двух расчетов. Длины панелей пояса, примыкающих к узлу, равны между собой. Сталь С345К. Исходные данные принять по таблице 4.2.

4.28 Подобрать сечение нижнего пояса из замкнутых сварных прямоугольных профилей и вычислить напряжения в панелях (см. рисунок 4.2, *л*) с учетом и без учета узлового момента. Узловой момент распределить между поясами поровну. Сравнить результаты двух расчетов. Длины панелей пояса, примыкающих к узлу, равны между собой. Сталь С255. Исходные данные принять по таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Исходные данные к задачам 4.1–4.8, 4.20–4.24

Вариант	Схема фермы по рисунку 4.1	Узел фермы	$F$ , кН	$a$ , кН	Вариант	Схема фермы по рисунку 4.1	Узел фермы	$F$ , кН	$a$ , кН
1	1	2	30	3	36	2	3	35	3
2	2	2	30	3	37	3	2	35	4
3	3	3	30	3	38	4	3	35	3
4	4	1	30	3	39	5	1	40	4
5	5	2	35	3	40	6	3	40	3
6	6	3	35	3	41	7	2	40	4
7	7	1	35	3	42	8	2	40	3
8	8	1	35	3	43	9	2	45	4
9	9	1	40	3	44	10	3	45	3
10	10	2	40	3	45	11	1	45	4
11	11	3	40	3	46	12	3	45	3
12	12	1	40	3	47	13	1	50	4
13	13	2	40	3	48	14	1	50	3
14	14	3	45	3	49	15	2	50	4
15	15	1	45	3	50	16	3	50	3
16	16	2	45	3	51	17	1	60	4
17	17	1	45	3	52	1	1	60	3,5
18	1	1	50	4	53	2	3	60	3,5
19	2	2	50	4	54	3	2	60	3,5
20	3	1	50	4	55	4	1	55	3,5
21	4	2	50	4	56	5	3	55	3,5
22	5	3	50	4	57	6	2	55	3,5
23	6	1	55	4	58	7	3	55	3
24	7	2	55	4	59	8	2	50	3
25	8	1	55	4	60	9	2	50	3
26	9	1	60	4	61	10	1	50	3
27	10	2	60	4	62	11	2	45	4
28	11	2	60	4	63	12	1	45	4
29	12	2	60	4	64	13	2	45	4
30	13	3	65	4	65	14	3	40	4
31	14	2	65	4	66	15	2	40	3,5
32	15	1	65	4	67	16	2	40	3,5
33	16	1	65	4	68	12	2	60	3,5
34	17	1	65	4	69	13	2	60	3,5
35	1	2	35	4	70	11	2	55	3,5



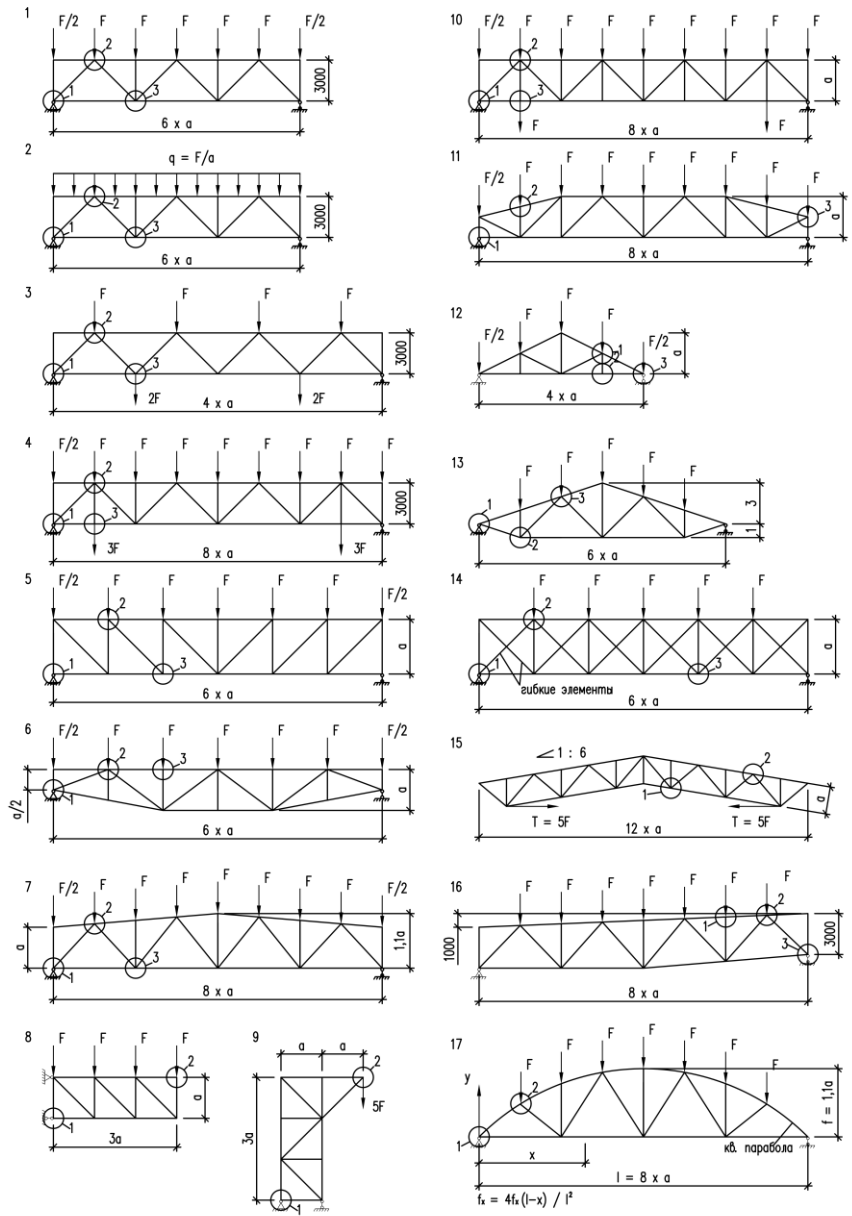


Рисунок 4.1 – Схемы ферм для расчета

Т а б л и ц а 4.2 – Исходные данные к задачам 4.9–4.19, 4.25–4.28

Вариант	$N_2$ , кН	$N_1$ , кН	$F$ , кН	Вариант	$N_2$ , кН	$N_1$ , кН	$F$ , кН
1	180	90	30	36	320	140	70
2	150	60	30	37	330	130	70
3	210	105	35	38	350	150	70
4	175	70	35	39	300	120	75
5	240	105	35	40	360	160	75
6	250	120	40	41	370	110	75
7	260	120	40	42	360	110	65
8	270	115	40	43	280	120	65
9	280	110	40	44	260	120	65
10	260	90	45	45	325	125	60
11	280	90	45	46	280	130	60
12	280	95	45	47	285	135	60
13	260	100	45	48	250	140	55
14	270	105	45	49	245	145	55
15	320	135	45	50	270	150	55
16	330	135	45	51	285	155	55
17	350	135	45	52	280	160	55
18	360	120	60	53	305	165	55
19	240	120	60	54	205	85	40
20	250	130	60	55	215	85	45
21	260	130	60	56	200	90	50
22	280	140	70	57	210	95	55
23	290	140	70	58	230	100	60
24	300	150	70	59	240	105	65
25	320	150	70	60	250	110	60
26	330	150	70	61	260	115	70
27	300	100	40	62	240	120	80
28	320	100	40	63	250	125	80
29	340	100	40	64	260	130	70
30	360	160	45	65	270	135	75
31	380	160	45	66	320	140	60
32	400	160	45	67	310	145	65
33	380	140	50	68	330	150	55
34	360	140	50	69	340	155	60
35	340	140	50	70	370	160	65

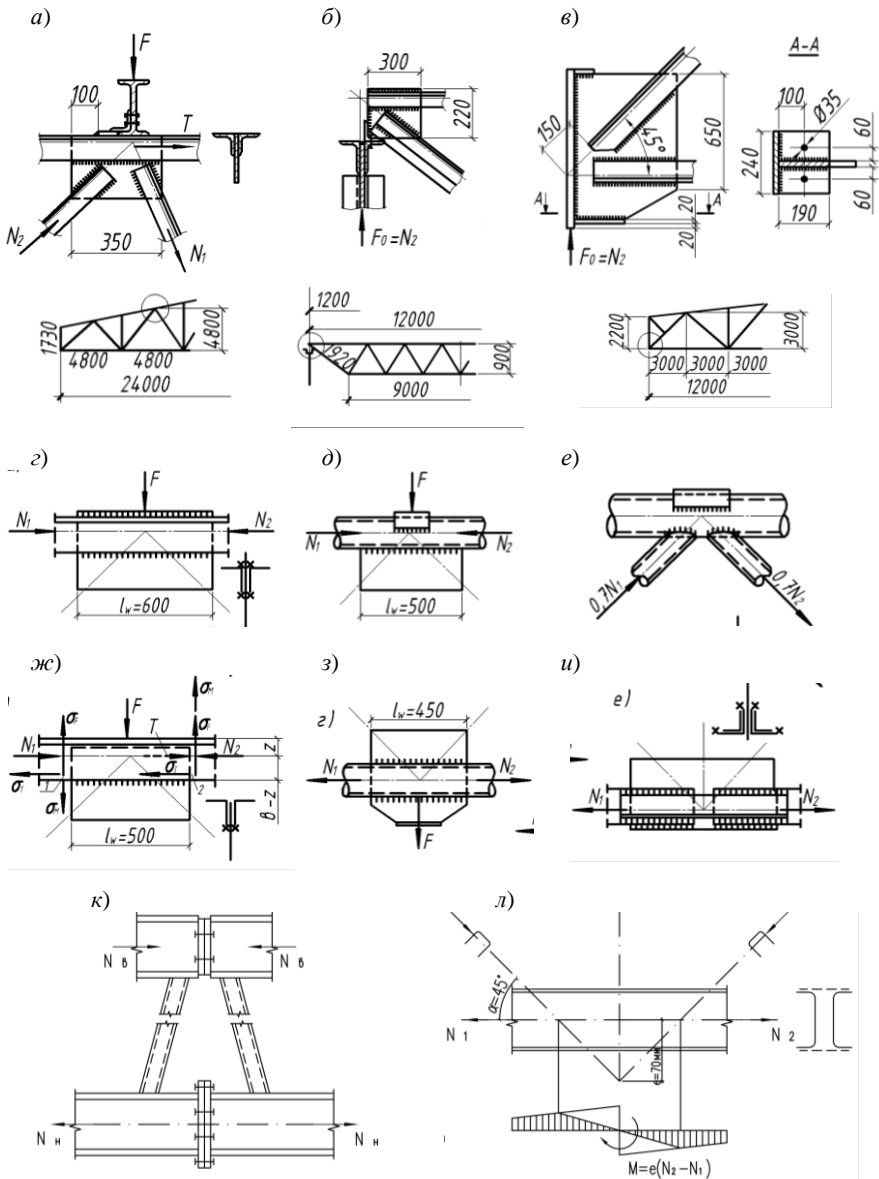


Рисунок 4.2 – Схемы узлов ферм для расчета

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **СП 5.04.01–2021.** Стальные конструкции. Строительные правила Республики Беларусь. – Введ. 2021–10–01. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2021. – 153 с.

2 **ТКП 45-5.04-274-2012 (02250).** Стальные конструкции. Правила расчета. – Введ. 2013–06–01. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2013. – 162 с.

3 Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций. – М. : ЦБНТИ Минмонтажспецстроя, 1989. – 54 с.

4 **СП 16.13330.2017.** Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. – Введ. 2017–08–28. – М. : Минстрой России, 2017. – 139 с.

5 Металлические конструкции : учеб. / Ю. И. Кудишин [и др.] ; под ред. Ю. И. Кудишина. – 13-е изд., стер. – М. : Академия, 2011. – 668 с.

6 **Прасол, В. Д.** Металлические конструкции в задачах и примерах. В 4 ч. Ч. I. Изгибаемые и сжатые элементы. Прокатные балки : учеб.-метод. пособие / В. Д. Прасол. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 58 с.

7 **Прасол, В. Д.** Металлические конструкции в задачах и примерах. В 4 ч. Ч. II. Соединения металлических конструкций : учеб.-метод. пособие / В. Д. Прасол. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 37 с.

8 **Прасол, В. Д.** Металлические конструкции в задачах и примерах. В 4 ч. Ч. III. Составные балки. Центральные и внецентренно сжатые колонны : учеб.-метод. пособие / В. Д. Прасол. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 74 с.

Учебное издание

*ПРАСОЛ Валентина Даниловна*

**Металлические конструкции  
в задачах и примерах**

Часть IV

Стропильные фермы

Учебно-методическое пособие

Редактор *Я. А. Васькевич*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Компьютерный набор и верстка *Т. И. Шляхтовой*

Подписано в печать 28.12.2022 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 2,91. Тираж 100 экз.  
Зак. № 2910. Изд. № 45

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 строительной механики,  
геотехники и строительных конструкций**

**В. Д. ПРАСОЛ**

# **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В ЗАДАЧАХ И ПРИМЕРАХ**

**Часть IV**  
**СТРОПИЛЬНЫЕ ФЕРМЫ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2022**