



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Металлические, деревянные и пластмассовые
конструкции»

Методические указания

к курсовой работе

по дисциплине

«Металлические конструкции»

«Расчет ферм из круглых труб»

Авторы
Скачков С.В.,
Голотайстрова Е.Ю.

Ростов-на-Дону, 2016

Аннотация

Методические указания к курсовому проекту «Расчет ферм из круглых труб» для студентов, обучающихся на дневной форме обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профилю подготовки «Промышленное и гражданское строительство».

В методических указаниях излагается последовательность расчета стропильных ферм из круглых труб. Приводятся необходимые для расчета формулы и справочные данные.

Авторы

к.тн.н., доц. С.В. Скачков
асп. каф. МДиПК Е.Ю. Голотайстрова



Оглавление

Предисловие	4
Расчетная схема ферм	4
Нагрузки.....	5
Определение усилий в элементах стропильных ферм	7
Расчетные длины элементов стропильных ферм	8
Подбор поперечных сечений элементов стропильных ферм и связей покрытий	9
Расчет узлов стропильных ферм из круглых труб.....	14
Литература.....	18

Предисловие

В настоящие годы широкое распространение получают стропильные фермы из круглых труб, гнутосварных профилей, а также с поясами из широкополочных двутавров и тавров.

Эти фермы в сравнении с традиционными фермами из парных уголков дают экономию металла, имеют меньшую трудоемкость изготовления и монтажа.

Внедрение указанных типов ферм в курсовое и дипломное проектирование затрудняется тем, что в имеющейся учебной литературе подробно излагается расчет лишь ферм из парных уголков.

Настоящие методические указания призваны заполнить этот пробел в отношении ферм из круглых труб.

Расчетная схема ферм

Расчетная ферма строится на основании конструктивной схемы фермы, принятой в чертежах КМ (конструкции металлические).

Для ферм из круглых труб, высота которых в чертежах КМ указывается по осям поясов, расчетная схема совпадает с конструктивной.

При уклоне кровли 1,5% в расчетной схеме пояса фермы считают горизонтальными.

Расчетный пролет фермы принимается равным расстоянию между центрами опорных узлов $L_{\phi} = L - 2a$, где L - пролет здания; $a = 200\text{мм}$ - типовая привязка.

Панели фермы принимаются 3000 мм за исключением крайних, равных 2800 мм.

На рис. 1,а изображена расчетная схема фермы с восходящими опорными раскосами при пролете 24 м. первые панели верхнего пояса фермы, усилия в которых равны нулю, и опорные стойки, передающие давление непосредственно на колонны, изображены пунктирными линиями.

На рис. 1,б изображена расчетная схема фермы с нисходящими опорными раскосами.

Расчет ферм из круглых труб

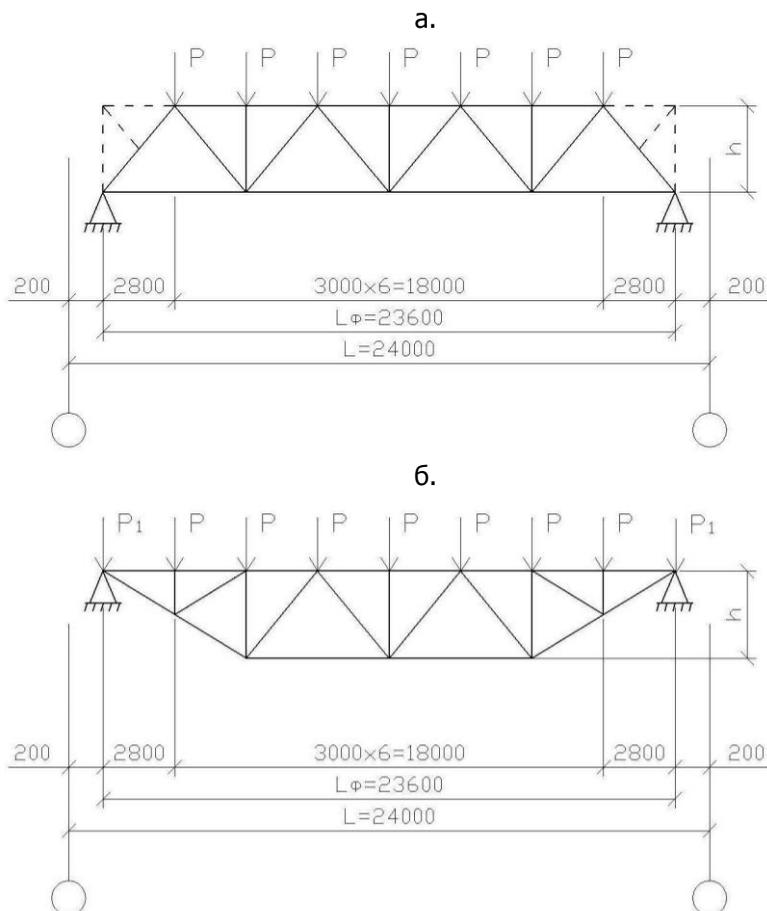


Рис. 1. Расчетные схемы стропильных ферм

Нагрузки

Узловые нагрузки на верхний пояс фермы P и P_1 (рис. 1) включает в себя постоянные нагрузки от веса конструктивных элементов покрытия и временную снеговую нагрузку.

Для вычисления узловых нагрузок предварительно находят распределение нагрузки на 1 м^2 покрытия.

Примеры вычисления постоянной нагрузки приведены в табл. 1 и 2, где через g^H обозначены нормативные, а через g – расчетные нагрузки.

Снеговая расчетная нагрузка S_0 вычисляется по формуле:

$$S_0 = 0,7 \cdot c_s \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g \quad (1)$$

Расчет ферм из круглых труб

где c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с п.10.5 СП 20.13330.2011

c_t – термический коэффициент, принимаемый в соответствии с п.10.6 СП 20.13330.2011

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с п.10.4 СП 20.13330.2011

S_g - вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, принимаемый по табл. 3 в зависимости от снегового района РФ (табл. 10.1, СП 20.13330.2011);

Масса стропильных ферм, прогонов и связей g'' определяется по табл. 4, для чего необходимо предварительно вычислить сумму расчетной постоянной нагрузки g' (без учета веса стропильных ферм, прогонов и связей) и снеговой нагрузки S_g . Масса утеплителя из керамзитобетона, при беспрогонном решении, определяется по его заданной толщине. Соответствующие веса вносят в табл. 1 вычисления нагрузок, после чего определяется полная расчетная нагрузка g .

При шаге стропильных ферм 12 м грузовая площадь, с которой собирается узловая нагрузка составляет $3 \times 12 = 36 \text{ м}^2$, а для крайних узлов $1,5 \times 12 = 18 \text{ м}^2$. Соответственно

$$P = 36 \cdot (g + p) \quad (2)$$

$$P_1 = 18 \cdot (g + p) \quad (2.1)$$

Таблица 1

Постоянные нагрузки при прогонном решении покрытия					
Вид нагрузки		g'' , (кгс/м ²)	кПа, η	g , (кгс/м ²)	кПа,
Стропильные фермы, прогоны и связи $g'' =$		Из табл. 4	1,1		
Стальной профилированный настил		0,15 (15)	1,1	0,17 (17)	
Пароизоляция		0,04 (4)	1,2	0,05 (5)	
Пенополиуретан ($\rho = 60 \text{ кг/м}^3$)	50 мм	0,03 (3)	1,2	0,04 (4)	
Рулонный ковер		0,16 (16)	1,2	0,19 (19)	
Гравийная защита		0,40 (40)	1,3	0,52 (52)	
Итого				$g' =$ 0,97 (97)	
Итого				$g =$	

Таблица 2

Расчет ферм из круглых труб

Постоянные нагрузки при беспрогонном решении покрытия

Вид нагрузки	g^H , кПа, (кгс/м ²)	η	g , кПа, (кгс/м ²)
Стропильные фермы и связи $g^{II} =$	Из табл. 4	1,1	
Железобетонные плиты 3×12 м	1,90 (190)	1,1	0,17 (17)
Пароизоляция	0,04 (4)	1,2	0,05 (5)
Керамзитобетон ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)		1,2	
Выравнивающий слой (стяжка) из цемен. раствора 15 мм ($\rho = 22 \text{ кг/м}^3$)	0,33 (33)	1,2	0,40 (40)
Рулонный ковер	0,16 (16)	1,2	0,20 (20)
Гравийная защита	0,40 (40)	1,3	0,52 (52)
Итого		$g^I =$	3,27 (327)
Итого		$g =$	

Таблица 3

Вес снегового покрова S_E на 1 м² горизонтальной поверхности земли

Снеговые районы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S_E , кПа	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6

Таблица 4

Масса стропильных ферм пролетом 24 м, связей и решетчатых прогонов пролетом 12 м, кг/см²

Сумма расчетной нагрузки и снеговой нагрузки P , кПа (кгс/см ²)	2 (200)	3 (300)	4 (400)	5 (500)	6 (600)	7 (700)
Масса ферм из круглых труб и гнuto-сварных профилей	8	10	13	15	17	19
Масса связей	4	4	5	5	6	6
Масса прогонов. В скобках указаны № швеллеров верхнего пояса прогона	10 (10)	12 (12)	14 (12)	16 (14)	18 (16)	20 (16)

Определение усилий в элементах стропильных ферм

При расчете стропильной фермы предполагают, что ее элементы соединяются шарнирно, оси стержней пересекаются в каждом узле в одной точке и нагрузки приложены только в узлах. При этих условиях в элементах фермы возникают только продольные сжимающие или растягивающие усилия.

Усилия в элементах фермы находят построением диаграммы

Расчет ферм из круглых труб

Максвелла-Кремоны. Найденные усилия записываются а табл. 8 подбора поперечных сечений элементов фермы.

Расчетные длины элементов стропильных ферм

Для проверки устойчивости сжатых элементов фермы и обеспечения нормативных требований к гибкости всех элементов, необходимо вычислить расчетные длины: в плоскости фермы l_x и из плоскости l_y .

Расчетные длины для поясов фермы и опорных раскосов (которые являются первыми от опор панелями поясов принимаются равными (рис.2)

$$l_x = l \quad (3)$$

$$l_y = l_1 \quad (4)$$

где l - геометрическая длина элемента фермы (расстояние между центрами узлов) в плоскости фермы;

l_1 - расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы связями или плитами покрытия.

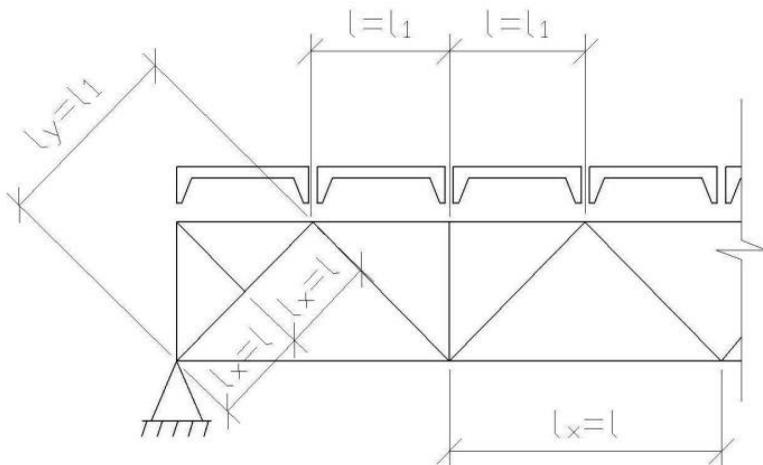


Рис.2. Расчетные длины элементов фермы

Для стропильных ферм, рассмотренных далее, предположено, что все узлы верхнего пояса закреплены связями или плитами перекрытия в плоскости фермы и расчетные длины верхнего пояса равны

$$l_x = l_y = a \quad (5)$$

где a - панель верхнего пояса фермы.

Размеры l и l_1 для восходящего опорного раскоса, име-

Расчет ферм из круглых труб

ющего подкос, пояснены на рис.2.

Для нижнего пояса расчетные длины l_x равны расстояниям между центрами узлов фермы.

Расчетные длины элементов решетки ферм из парных уголков

$$l_x = 0,8 \cdot l \quad (6)$$

$$l_y = l \quad (7)$$

ферм из круглых труб и гнутосварных профилей

$$l_x = l_y = 0,9 \cdot l \quad (8)$$

Подбор поперечных сечений элементов стропильных ферм и связей покрытий

Растянутые элементы

Условие прочности для растянутого элемента фермы

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

откуда требуемая площадь поперечного сечения

$$A_{тр} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} \quad (9)$$

где N - расчетное усилие;

γ_c - коэффициент условий работы.

Для предотвращения чрезмерных провисаний и вибраций, а также для обеспечения сохранности при транспортировании и монтаже гибкость растянутых элементов ферм не должна превосходить предельных величин, приведенных в табл. 5.

Таблица 5

Предельная гибкость $\lambda_{пр}$ элементов стропильных ферм

Элементы ферм	Растяжение при статических нагрузках	Сжатие
Пояса и опорные раскосы	400	120
Верхние пояса, незакрепленные при монтаже	-	220
Элементы решетки	400	150

При статических нагрузках (как это предусмотрено в курсовом проекте) гибкость растянутых элементов проверяется только в плоскости фермы. Поэтому при подборе поперечных сечений растянутых элементов ферм не определяются величины l_y , r_y и λ_y .

Сжатые элементы

Условие устойчивости выражается формулой

Расчет ферм из круглых труб

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (10)$$

где φ - коэффициент устойчивости при центральном сжатии, принимаемый по табл. 6 в зависимости от большей из гибкостей элемента

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} \text{ и } \lambda_y = \frac{l_y}{r_y};$$

γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый для элементов решетки (кроме опорного раскоса) при $\lambda \geq 60$ равным **0,8**.

Предельные гибкости сжатых стержней приведены в табл. 5. Подбор поперечного сечения сжатого элемента выполняется следующим образом:

а) определяют из (10) требуемую площадь поперечного сечения

$$A = \frac{N}{\gamma_c \cdot \varphi \cdot R_y} \quad (10.1)$$

где коэффициент φ приближенно принимают для поясов и опорных раскосов ферм уголков 0,7-0,8; для элементов решетки 0,6-0,5;

б) принимают по сортаменту профиль элемента;

в) вычисляют гибкости λ_x и λ_y для выбранного сечения; если гибкость превышает предельную величину, указанную в табл.5, то необходимо принять другой профиль, удовлетворяющей предельной гибкости;

г) по большей из гибкостей λ_x и λ_y находят по табл. 6 коэффициент φ_{min} и проверяют по (10) устойчивость элемента. Если условие (10) не удовлетворяется, принимают большее сечение и повторяют проверку, если $\frac{N}{\varphi \cdot A} < \gamma_c \cdot R_y$, следует принять меньшее сечение и повторить проверку.

Таблица 6

Коэффициент φ для рассматриваемого сечения

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициент φ	Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициент φ
0,4	999	5,4	261
0,6	994	5,6	242
0,8	981	5,8	226
1,0	968	6,0	211

Расчет ферм из круглых труб

1,2	954	6,2	198
1,4	938	6,4	186
1,6	920	6,6	174
1,8	900	6,8	164
2,0	877	7,0	155
2,2	851	7,2	147
2,4	820	7,4	139
2,6	785	7,6	132
2,8	747	7,8	125
3,0	704	8,0	119
3,2	660	8,5	105
3,4	615	9,0	094
3,6	572	9,5	084
3,8	530	10,0	076
4,0	475	10,5	069
4,2	431	11,0	063
4,4	393	11,5	057
4,6	359	12,0	053
4,8	330	12,5	049
5,0	304	13,0	045
5,2	281	14,0	039

Значения коэффициентов φ в таблице увеличены в 1000 раз.

Элементы связей покрытия

Поперечные сечения элементов связей выбираются из условия соблюдения предельной гибкости

$$\lambda = \frac{l}{i_{min}} \leq \lambda_{пр}$$

где l - расстояние между центрами узлов конструкций, к которым прикрепляются связи;

i_{min} - минимальный радиус инерции поперечного элемента связей;

$\lambda_{пр}$ - предельная гибкость, принимаемая для сжатых элементов равной 200 и для растянутых - 400.

Растянутыми элементами связей из труб или гнутосварных профилей являются растяжки по нижним поясам стропильных ферм.

Дополнительные указания

Результаты подбора поперечных сечений элементов фермы рекомендуется записывать в табличной форме (см. табл. 8).

Поперечные сечения верхнего и нижнего поясов фермы принимаются постоянными по их длине и подбираются по максимальным усилиям в каждом из них. Для получения наибольшей

Расчет ферм из круглых труб

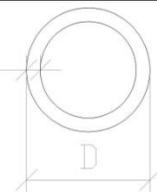
жесткости элементов фермы следует при одинаковых площадях поперечных сечений профилей сортамента выбирать сечения с минимальной толщиной.

Во избежание повреждений элементов ферм при транспортировании и монтаже принимают трубы с размерами не менее 89х3. Диаметр труб элементов решетки должен быть не менее 1/3 диаметра трубы пояса.

Для каждой фермы следует применять не более 6-7 профилей.

Сортамент круглых труб приведен в табл. 7.

Таблица 7

	Трубы электросварные по ГОСТ 10704-91 и приближенные значения катетов сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясам			
	$D \times t$, мм	A , см ²	I , см	Масса, кг/м
89х3	8,10	3,04	6,36	4
102х4	12,3	3,47	9,67	5
102х4,5	13,8	3,46	10,82	5
114х3,5	12,2	3,91	9,54	4
114х5	17,1	3,86	13,44	6
127х3,5	13,6	4,37	10,66	4
127х4	15,5	4,35	12,13	5
127х4,5	17,3	4,34	13,60	5
127х5	19,2	4,32	15,04	6
140х4,5	19,2	4,80	15,04	5
140х5	21,2	4,78	16,55	6
152х4,5	20,8	5,22	16,37	5
152х5	23,1	5,20	18,13	6
152х5,5	25,3	5,19	19,87	6
159х5	24,2	5,45	18,99	6
159х6	28,8	5,42	22,64	8
159х7	33,4	5,38	26,24	8
168х4,5	23,1	5,70	18,14	5

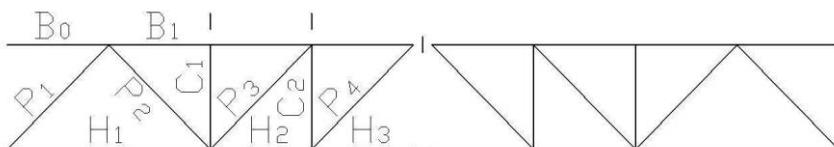
Расчет ферм из круглых труб

168x5	25,6	5,77	20,10	6
168x6	30,5	5,74	23,97	8
180x5	27,5	6,20	21,59	6
180x6	32,8	6,16	25,75	8
219x5	33,6	7,57	26,39	6
219x5,5	36,9	7,55	28,96	6
219x7	46,6	7,51	36,00	8
245x5	37,7	8,50	29,59	6
245x5,5	41,4	8,48	32,49	6
273x7	58,5	9,42	45,92	8
273x8	66,6	9,38	52,82	10

Элементы фермы		N	Состав сечения	A	$I_x = I_y$		λ	$\frac{N}{A}$ или $\frac{N}{A_n}$	γ_c	σ	Масса
					кН	см ²					
В/ П	B ₀	-660	180x5	27,5	300	6,20	49	0,842	1,0	285	21,59
	B ₁										
	B ₂										
Н/ П	H ₁	710	168x5	25,6	600	5,77	104		1,0	277	20,10
	H ₂										
	H ₃										
Раскосы	P ₁	-408	168x5	25,6	390	5,77	68	0,724	1,0	220	20,10
	P ₂	310	127x4,5	17,3	364	4,34	85		1,0	180	13,60

Расчет ферм из круглых труб

	P ₃	- 18 4	127x4 ,5	17, 3	364	4,3 4	85	0,6 85	0, 8	19 4	13,6 0
	P ₄	- 68	127x4 ,5	17, 3	364	4,3 4	85	0,6 85	0, 8	72	13,6 0
Стойки	C ₁	- 83	89x3	8,1	243	3,0 4	80	0,7 15	0, 8	18 0	6,36
	C ₂	- 41	89x3	8,1	243	3,0 4	80	0,7 15	0, 8	90	6,36



Расчет узлов стропильных ферм из круглых труб

Расчет узлов верхнего и нижнего поясов ферм

При бесфасоночном решении узлов их расчет заключается в определении размеров и проверке прочности сварных швов, соединяющих элементы решетки с поясами (рис.3).

Длина сварного шва определяется по формуле

$$l_w = \eta \cdot d \quad (11)$$

где d - диаметр элемента решетки;

η - коэффициент, принимаемый по табл. 9.

Таблица 9

 Коэффициент η

d/D	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,7	4,48	4,53	4,59	4,69	4,83
0,8	4,23	4,28	4,34	4,44	4,59
0,9	4,04	4,09	4,16	4,26	4,41
1,0	3,90	3,96	4,02	4,12	4,28
1,1	3,80	3,86	3,92	4,03	4,20
1,2	3,71	3,77	3,84	3,94	4,11
	3,23	3,30	3,37	3,49	3,67

В табл. 9 D – диаметр пояса фермы.

Расчет ферм из круглых труб

Условие прочности шва

- по металлу шва:
$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq \gamma_c \cdot R_{wf}; \quad (12)$$

- по металлу границы сплавления:
$$\frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} \leq \gamma_c \cdot R_{wz}; \quad (13)$$

где γ_c - коэффициент условий работы.

Определяется требуемый катет шва из 12 и 13.

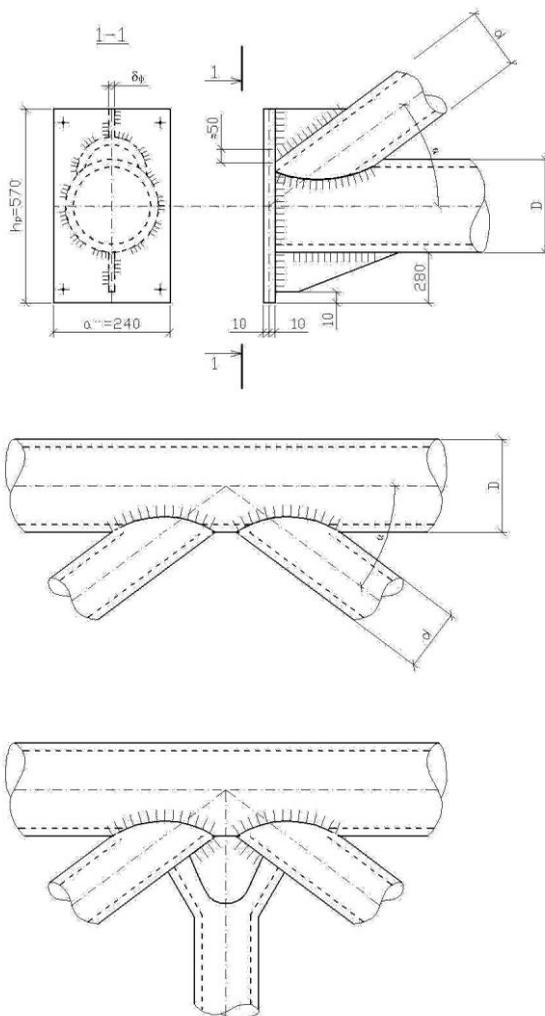


Рис. 3 Узлы стропильной фермы из круглых труб

Расчет ферм из круглых труб

При этом необходимо соблюдение условия
по табл. 38 [5] $k_f \leq 1,2 \cdot \delta$ (14)

где δ - наименьшая толщина соединяемых элементов.

В курсовом проекте выполняются расчеты опорного узла фермы и первых от опоры узлов верхнего и нижнего поясов. Размеры сварных швов в остальных узлах, необходимые для составления чертежей отправочного элемента фермы, принимаются по табл. 8. Размеры сварных швов монтажных стыков фермы условно принимаются по эталону графического оформления чертежей.

Расчет опорного узла стропильной фермы (рис. 3а)

Сварные швы, прикрепляющие опорный раскос к нижнему поясу фермы, рассчитываются по (12, 13).

Толщина и высота опорного ребра принимаются $t_n = 20\text{мм}$;
 $b_n = 570\text{мм}$.

Толщина фасонки принимается равной $t_n = 1\text{см}$.

Прочность сварных швов, прикрепляющих нижний пояс и фасонки к опорному ребру, проверяется по формуле

$$\tau = \frac{1,2 \cdot R}{A_m} \leq R_{wf} \quad (15)$$

где R - опорная реакция стропильной фермы;

1,2- коэффициент, учитывающий эксцентricность приложения опорной реакции к сварным швам.

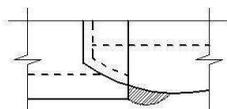
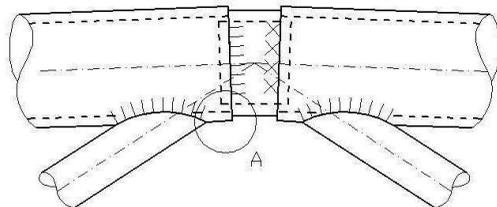
$$A_m = [[2 \cdot (57 - 2 - D - 5 - 2)] + \pi \cdot D] \cdot \beta_f \cdot k_f \quad (16)$$

$$= (96 + 1,14 \cdot D) \cdot \beta_f \cdot k_f$$

Из (14) и (15) требуемая толщина швов

$$k_f = \frac{1,2 \cdot R}{\beta_f \cdot (96 + 1,14 \cdot D) \cdot R_{wf}} \quad (17)$$

Расчет ферм из круглых труб



Бочкообразный вкладыш из
трубы по ГОСТ 8732-70
"Трубы стальные бесшовные
горячедеформированные"

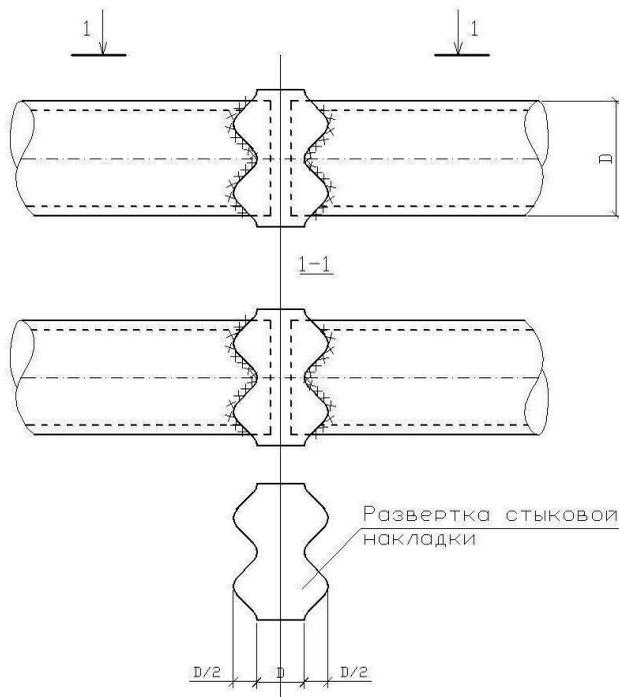


Рис. 4. Монтажные стыки фермы из круглых труб
Размер k_f должен быть не более $1,2 \cdot t_{тр.min}$ - толщины
более тонкой из соединяемых в узле труб.

Расчет ферм из круглых труб

Смятие торца опорного ребра проверяется по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{R}{A_{см}} \leq R_p \quad (18)$$

где $A_{см} = a \cdot t_p = 24 \cdot 2 = 48 \text{ см}^2$.

1.1. Расчет монтажных стыков фермы

Стык верхнего пояса фермы выполняется на бочкообразном вкладыше (рис. 4).

Стык нижнего пояса осуществляется при помощи двух накладок с фигурными вырезами (рис.4).

Толщина накладок

$$\delta_n = \delta_{\text{трубы}}$$

Расчетная длина швов, прикрепляющих накладки,

$$l_{ш} = 6 \cdot D$$

Требуемая толщина швов определяется по (12, 13).

Толщина шва должна быть в пределах

$$0,8 \cdot \delta_n \leq h_{ш} \leq 1,2 \cdot \delta_n$$

Литература

1. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент
2. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Общая часть. (справочник проектировщика) / Под общ. Ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998, - 576 стр.
3. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др. – М.: Изательский центр «Академия», 2007. – 322, 373 с.).
4. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия.
5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции.
6. Серия 1.460-5 Стальные конструкции покрытий производственных зданий с применением круглых труб.