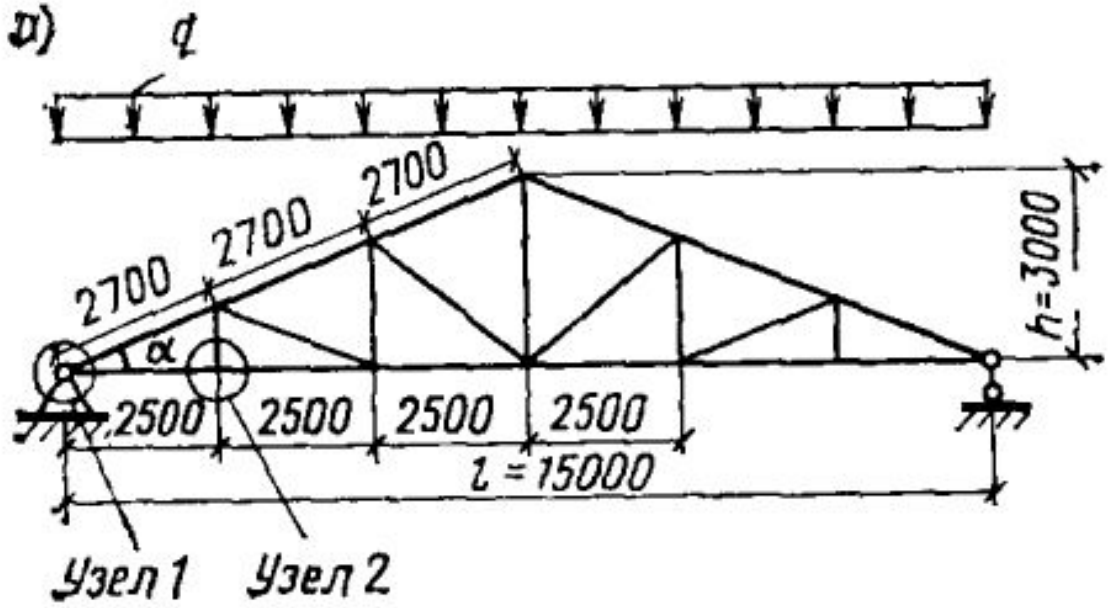
Расчет опорного узла треугольной фермы

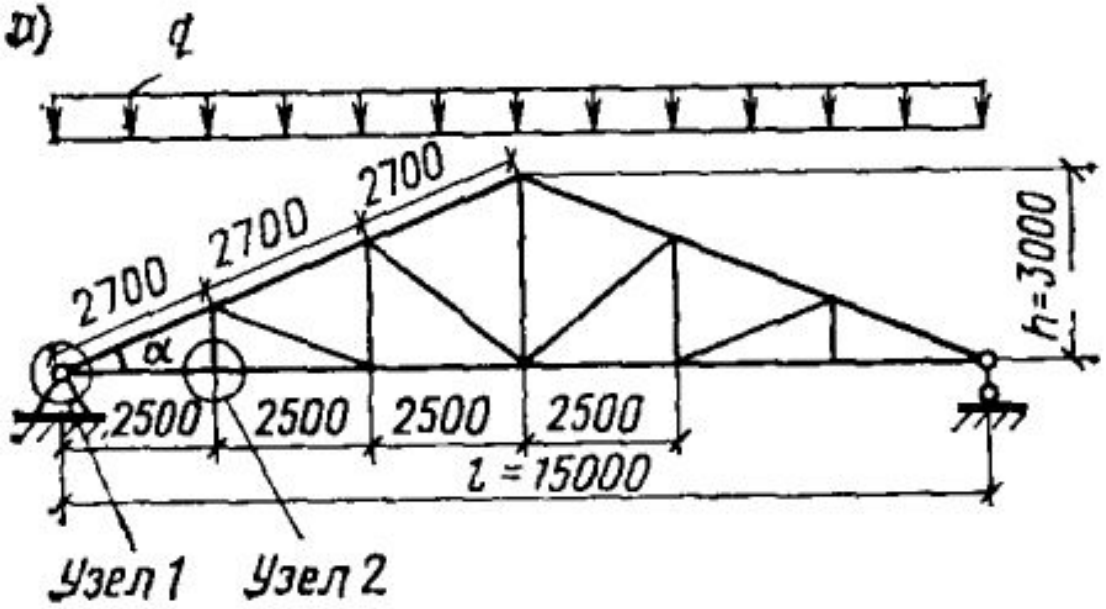
Доркин В.В. Сборник задач

Задача 1.42

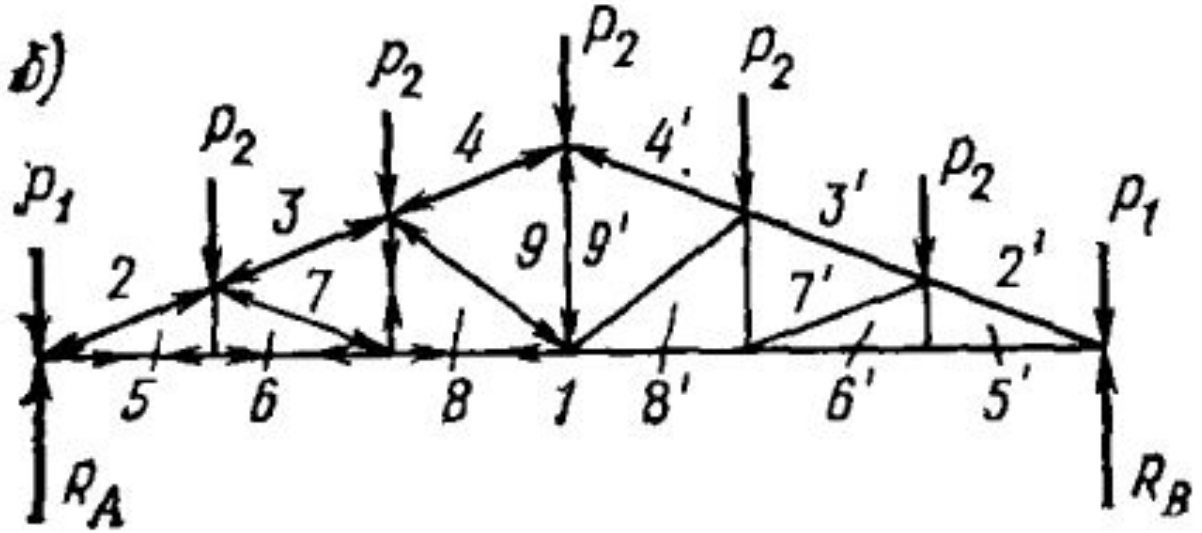
Задача 1.42. Расчетная схема



Задача 1.42. Требуется произвести расчет фермы покрытия, показанной на рис. 1.18, *а*. Подбор сечений и расчет сварных швов выполнить для опорного и промежуточного узлов фермы. Расчетный пролет фермы $l=15$ м, шаг ферм $b=6$ м. По фермам в узлах уложены прогоны, к которым крепится легкая кровля с нормативной нагрузкой от собственного веса $g_k^n=0{,}62$ кН/м². Снеговая нормативная нагрузка $p_c^n=0{,}5$ кН/м² (горизонтальной проекции). Коэффициент надежности по назначению $\gamma_n=1$. Ферма изготовлена из стали марки ВСт3сп5. Электроды марки Э42А.



Решение. Расчетное сопротивление материала $R_y = 235$ МПа для фасона, $R_y = 225$ МПа для листа. Определяем геометрические размеры фермы (рис. 1.18, *а*) $h = {}^1/_5 = {}^{15}/_3 = 3$ м, $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}4$, $\sin\alpha = 0{,}371$, $\cos\alpha = 0{,}928$, $\alpha = 21°48'$. Нижний пояс фермы разбиваем на шесть равных панелей длиной $l_n = 2{,}5$ м. Определяем расчетные нагрузки. Нагрузку от собственного веса ферм с учетом связей покрытия $g^n_ф$ принимают в пределах 0,2—0,4 кН/м². Принимаем $g^n_ф = 0{,}3$ кН/м².



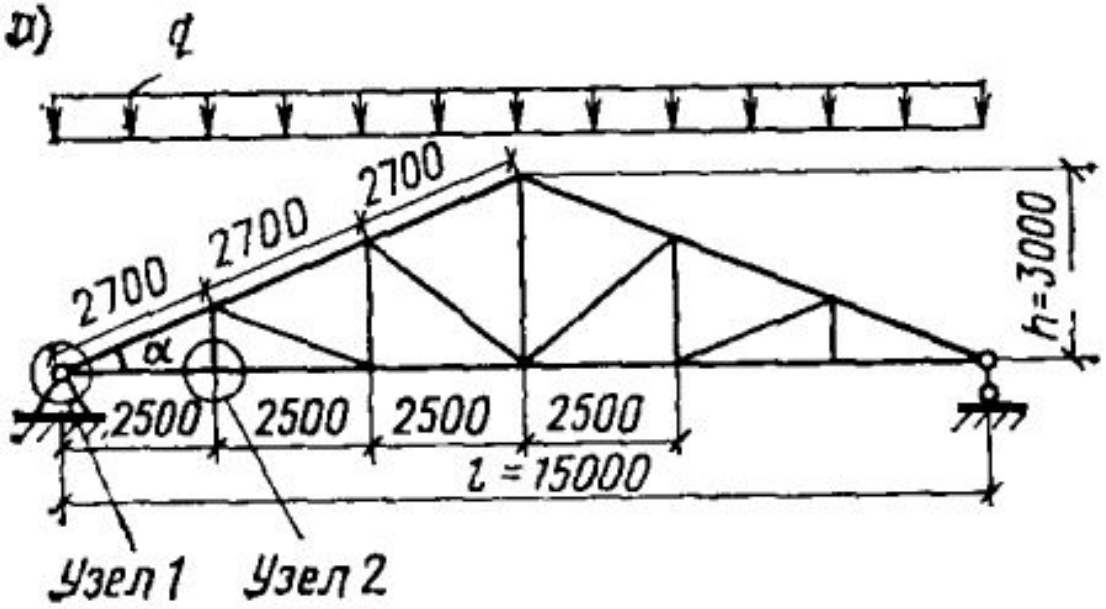
Нормативная постоянная нагрузка, приходящаяся на 1 м² горизонтальной проекции фермы,

$$g^n = \left(g_k^n + g_{\text{ф}}^n\right) \cos\alpha = (0,62 + 0,3)\, 0,928 = 0,85 \text{ кН/м}^2.$$

Полная расчетная нагрузка на 1 м² горизонтальной проекции фермы

$$q = \left(g^n \gamma_{fn} + p^n \gamma_{fc}\right) \gamma_n = (0,85 \cdot 1,1 + 0,5 \cdot 1,4)1 = 1,63 \text{ кН/м}^2,$$

где γ_{fn} и γ_{fc} — соответственно коэффициенты надежности для постоянной и снеговой нагрузок



Расчетная нагрузка на узлы фермы (рис. 1.18, *б*)

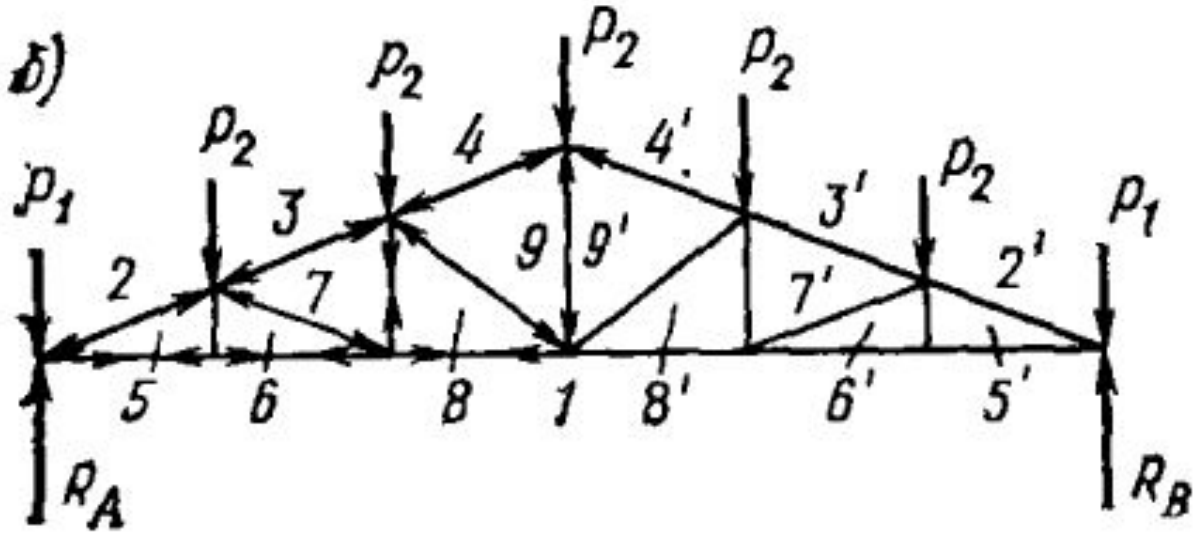
$$p_1 = (q l_n b)/2 = (1{,}63 \cdot 2{,}5 \cdot 6)/2 = 12{,}2 \text{ кН};$$

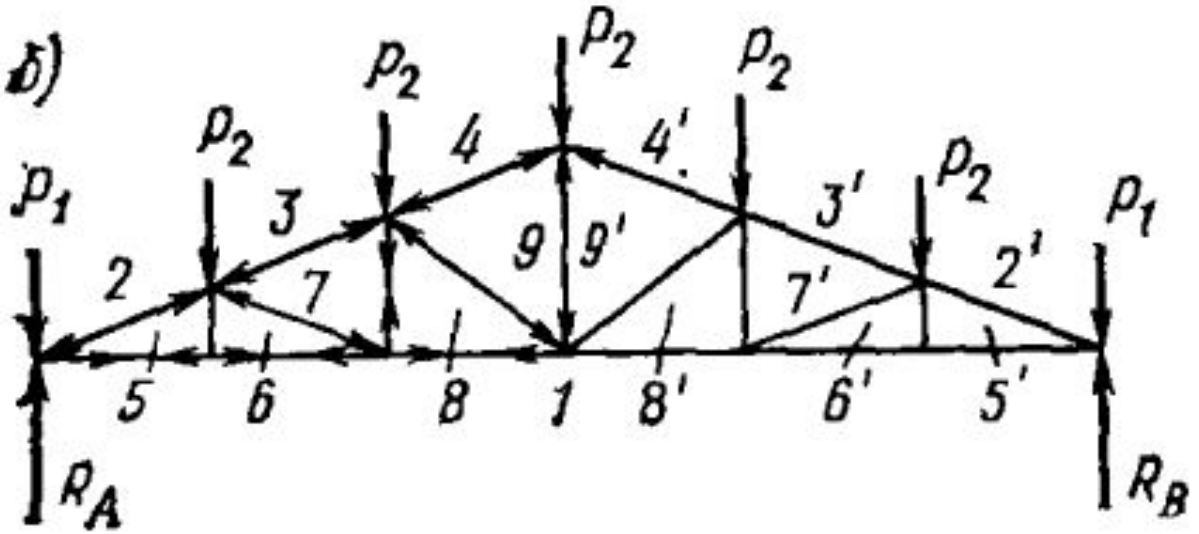
$$p_2 = q l_n b = 1{,}63 \cdot 2{,}5 \cdot 6 = 24{,}5 \text{ кН}.$$

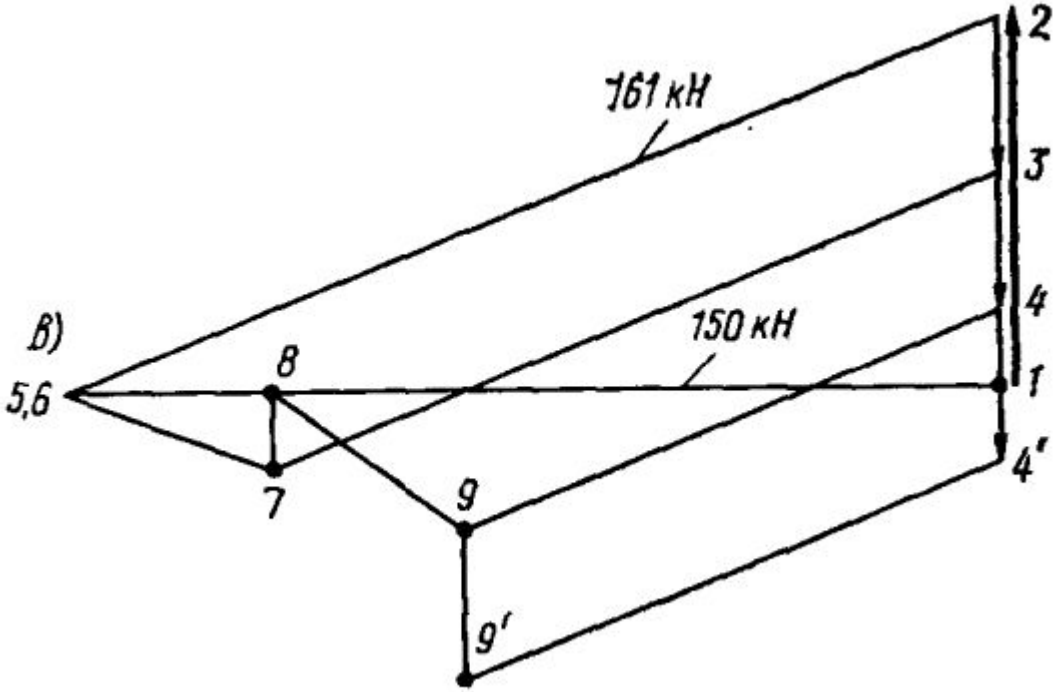
Опорные реакции

$$R_A = R_B = \Sigma p/2 = (2 \cdot 12{,}2 + 5 \cdot 24{,}5)/2 = 73{,}5 \text{ кН}.$$

Величины расчетных усилий в стержнях фермы и их знаки определяем графически путем построения диаграммы Максвелла—Кремоны (рис. 1.18. *в*).




б)
P1
P2
P2
P2
P2
P2
P1
2
3
4
4'
3'
2'
7
7'
9
9'
5
6
8
1
8'
6'
5'
RA
RB


в)
161 кН
150 кН
5,6
8
7
9
9'
2
3
4
1
4'

Задача 1.42. Расчет опорного узла

Произведем расчет стержней, входящих в узел фермы.

Коэффициент условий работы

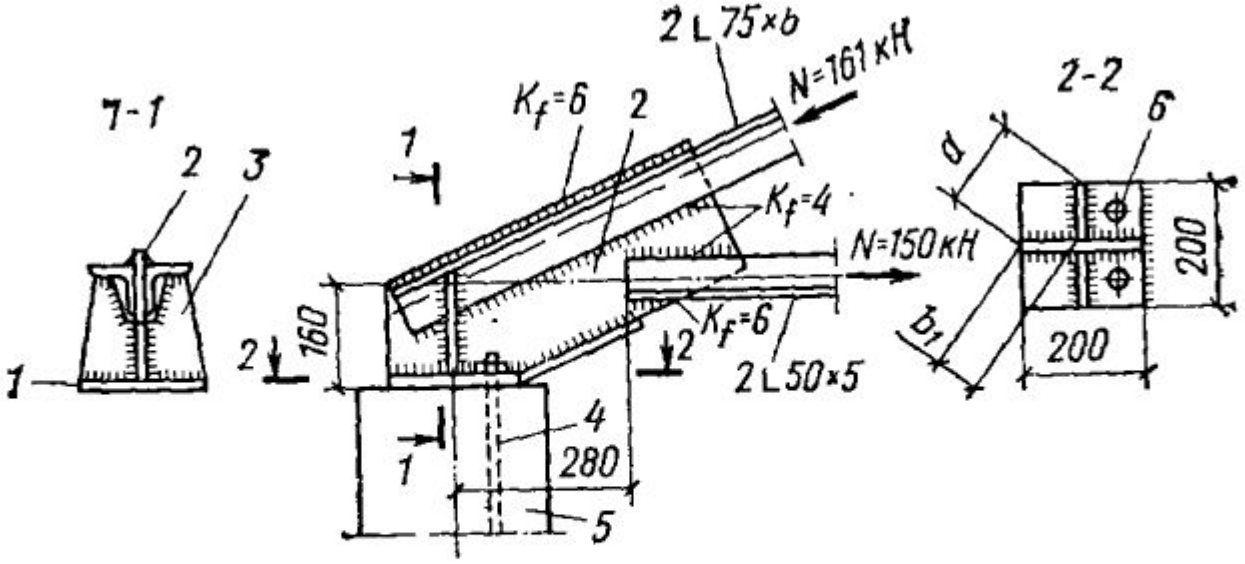


Рис. 1.19. К задаче 1.42. Опорный узел фермы

1 — плита t=16 мм; *2* — фасонка t=8 мм; *3* — ребра t=8 мм; *4* — анкерный болт d=24 мм; *5* — железобетонная колонна; *6* — отверстие в опорной плите d=50 мм

Расчет опорного узла треугольной фермы

Коэффициент условий работы

для сжатых элементов поясов и опорных раскосов ферм при расчете на устойчивость

$$\gamma_c = 0{,}95,$$

для сжатых элементов решетки ферм при гибкости $\lambda \geqslant 60$,

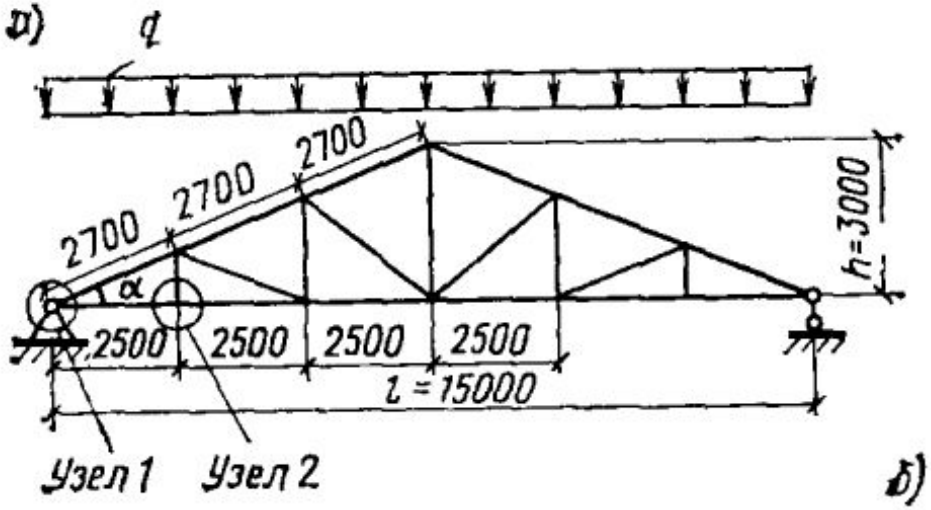
$$\gamma_c = 0{,}8,$$

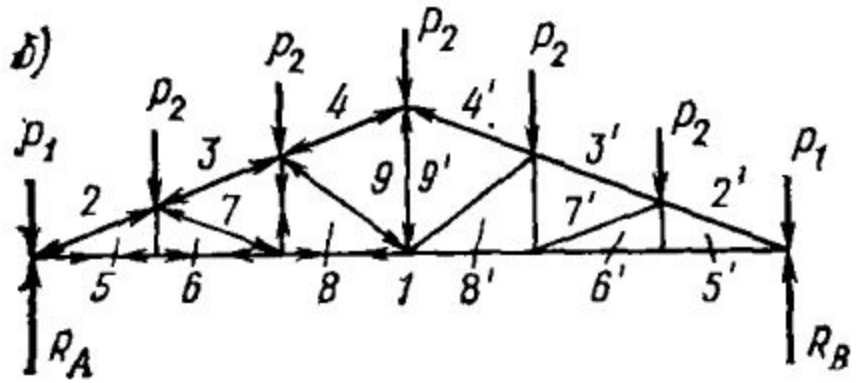
для растянутых элементов ферм

$$\gamma_c = 0{,}95.$$

Расчет опорного узла треугольной фермы

Расчет сжатого стержня пояса 2—5 производим на усилие 161 кН. Принимаем стержень из двух равнобоких уголков. Расчетная длина стержня $l_x = l_y = 270$ см.





Расчет опорного узла треугольной фермы

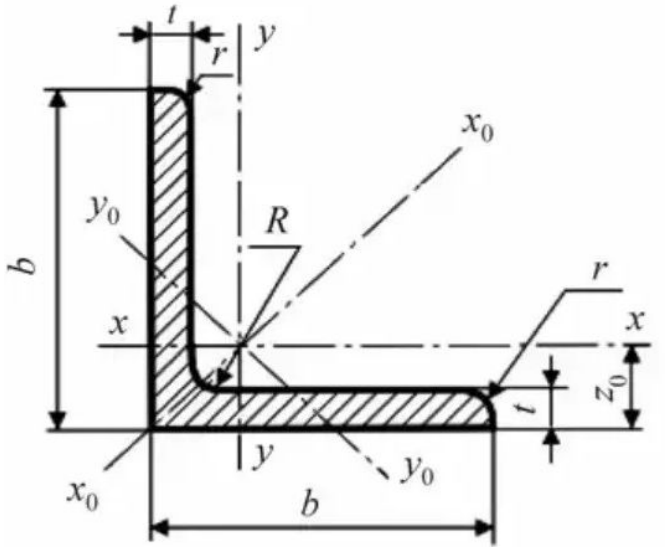
Определяем предварительно необходимую площадь сечения, задавшись $\varphi = 0{,}5$.

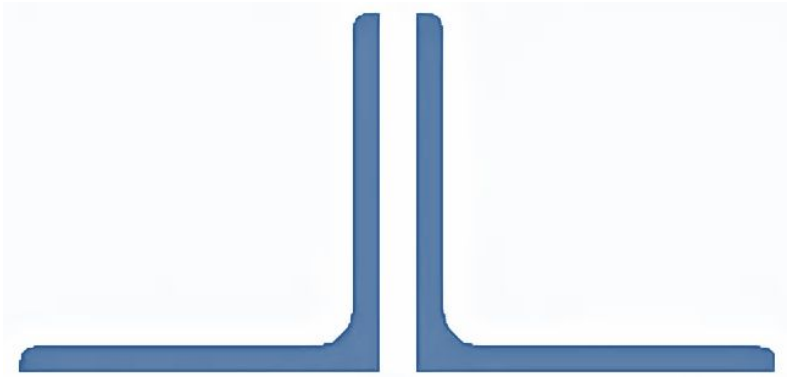
$$A = N/(\varphi R_y \gamma_c) = 161/0{,}5 \cdot 23{,}5 \cdot 0{,}95 = 14{,}4 \text{ см}^2.$$

Принимаем по сортаменту сечение из двух равнобоких уголков 75×6.

$$A = 2 \cdot 8{,}78 = 17{,}56 \text{ см}^2; \quad I_x = I_y = 46{,}6 \text{ см}^4;$$

$$z_0 = 2{,}06 \text{ см}; \quad i_x = 2{,}3 \text{ см}.$$





Расчет опорного узла треугольной фермы

Момент инерции относительно оси y сечения из двух уголков при толщине фасонки 0,8 см.

$$I = 2 \cdot 46,6 + 2 \cdot 8,78\,(2,06 + 0,8/2)^2 = 199 \text{ см}^4.$$

Радиус инерции $i_y = \sqrt{I/A} = \sqrt{199/17,56} = 3,4$ см.

Гибкость $\lambda_x = l_x/i_x = 270/2,3 = 117$; $\lambda_y = l_y/i_y = 270/3,4 = 79$.

Расчет производим по наибольшей гибкости $\lambda_x = 117 < 120$,

$$\varphi = 0,42$$

Окончательно проверяем принятое сечение

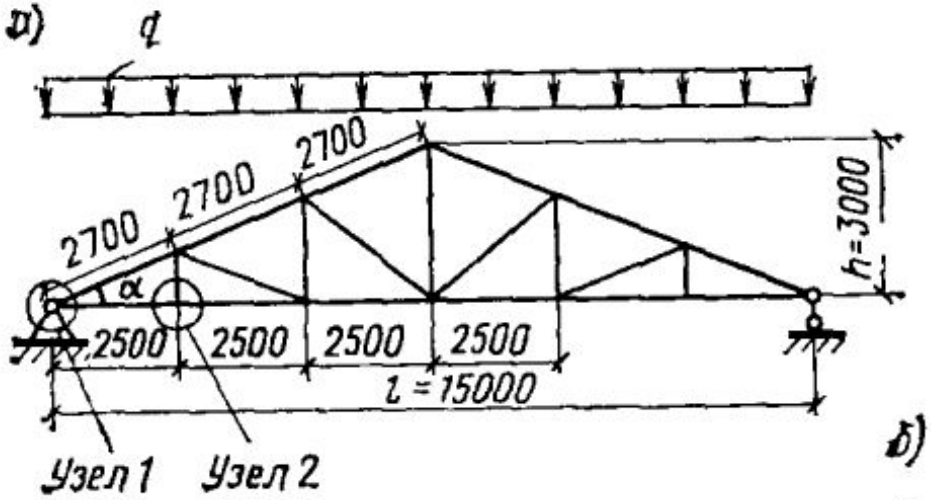
$$N/\gamma A = \frac{161}{0,42 \cdot 17,56} = 21,8 < R_y \gamma_c = 23,5 \cdot 0,95 = 22,3 \text{ кН/см}^2 =$$

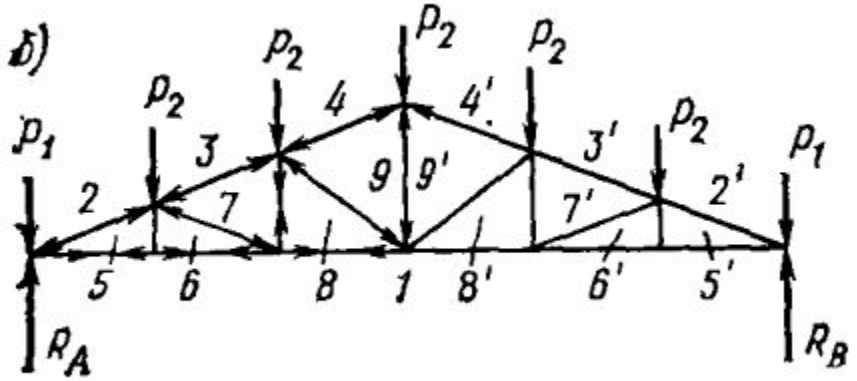
$$= 223 \text{ МПа}.$$

Расчет опорного узла треугольной фермы

Расчет растянутого стержня 1—5 производим на усилие 150 кН. Расчетная длина в плоскости фермы $l_x = 250$ см, расчетная длина из плоскости фермы при одной связи — распорке в середине пролета $l_y = 1500/2 = 750$ см. Требуемая площадь поперечного сечения

$$A = N/(R_y \gamma_c) = 150/(23{,}5 \cdot 0{,}95) = 6{,}7 \text{ см}^2.$$





Расчет опорного узла треугольной фермы

Расчет растянутого стержня 1—5 производим на усилие 150 кН. Расчетная длина в плоскости фермы $l_x = 250$ см, расчетная длина из плоскости фермы при одной связи — распорке в середине пролета $l_y = 1500/2 = 750$ см. Требуемая площадь поперечного сечения

$$A = N/(R_y \gamma_c) = 150/(23{,}5 \cdot 0{,}95) = 6{,}7 \text{ см}^2.$$

Принимаем сечение из двух равнобоких уголков 50×5.

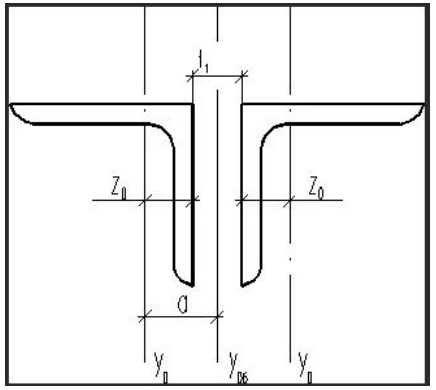
$$A = 2 \cdot 4{,}8 = 9{,}6 \text{ см}^2; \quad I_x = 11{,}2 \text{ см}^4; \quad z_0 = 1{,}42 \text{ см};$$

$$i_x = 1{,}53 \text{ см}^2.$$

Момент инерции относительно оси y сечения из двух уголков при толщине фасонки 0,8 см

$$I_y = 2 \cdot 11{,}2 + 2 \cdot 4{,}8\,(1{,}42 + 0{,}8/2)^2 = 54 \text{ см}^4;$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A} = \sqrt{54/9{,}6} = 2{,}36 \text{ см}.$$



Гибкость стержня

$$\lambda_x = l_x/i_x = 250/1{,}53 = 163;$$

$$\lambda_y = l_y/i_y = 750/2{,}36 = 318 \leqslant \lambda_{cr} = 400.$$

Расчет опорного узла треугольной фермы

Производим расчет узла. Принимаем ручную сварку ($\beta_f = 0{,}7$; $\gamma_{wf} = 1$) с расчетным сопротивлением срезу угловых швов по металлу шва $R_{wf} = 180$ МПа.

Уголки стержня 2—5 с усилием $N = 161$ кН прикрепляем двусторонним угловым швом толщиной $k_f = 6$ мм со стороны обушка и $k_f = 4$ мм со стороны пера. Усилие, приходящееся на обушок $N_o = 0{,}7N = 0{,}7 \cdot 161 = 113$ кН. Усилие, приходящееся на перо $N_p = 0{,}3N = 0{,}3 \cdot 161 = 48$ кН. Расчетная длина шва на обушок по условию среза металла шва

$$l_{wo} = N_o/(2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}) = 113/(2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1) = 7{,}5 \text{ см}.$$

Расчетная длина шва на перо

$$l_{wp} = N_p/(2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}) = 48/(2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}4 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1) = 5 \text{ см};$$

Длины швов с учетом непровара:

по обушку $l_o = l_{wo} + 1$ см $= 7{,}5 + 1 \approx 9$ см;

по перу $l_p = l_{wp} + 1$ см $= 5 + 1 = 6$ см.

Расчет опорного узла треугольной фермы

Аналогично рассчитываем сварные швы крепления стержня 1—5 на силу $N = 150$ кН.

$$N_o = 0,7 \cdot 150 = 105 \text{ кН}; \quad N_p = 0,3 \cdot 150 = 45 \text{ кН};$$

$$l_{wo} = 105/2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1 = 7 \text{ см};$$

$$l_{wp} = 45/2 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1 = 4,5 \text{ см};$$

$$l_o = 7 + 1 = 8 \text{ см}; \quad l_p = 4,5 + 1 = 6 \text{ см}.$$

По конструктивным соображениям принимаем шов по перу $l_p > 6$ см (см. рис. 1.19). Опирание фермы производится на железобетонную колонну. Расчетное сопротивление бетона колонны на сжатие $R_b = 11,5$ МПа. Принимаем плиту размером 20×20 см. $A_{op} = 400$ см². Реактивное давление под плитой

$$q = R_A / A_{op} = 73,6/400 = 0,184 < R_b = 1,15 \text{ кН/см}^2.$$

Расчет опорного узла треугольной фермы

Изгибающие моменты в опорной плите определяем как для пластинки, опертой на две стороны по формуле

$$M = \beta q a^2 = 0{,}06 \cdot 0{,}184 \cdot 14^2 = 2{,}16 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

где коэффициент β находится по табл. 1.13 в зависимости от соотношения сторон $b_1/a = 70/140 = 0{,}5$ (см. рис. 1.19).

Требуемая толщина плиты

$$t = \sqrt{6M/(R_y \gamma_c)} = \sqrt{6 \cdot 2{,}16/22{,}5 \cdot 1} = 0{,}76 \text{ см}.$$

Конструктивно принимаем минимальную толщину плиты, равную 16 мм $\geqslant$ 7,6 мм.

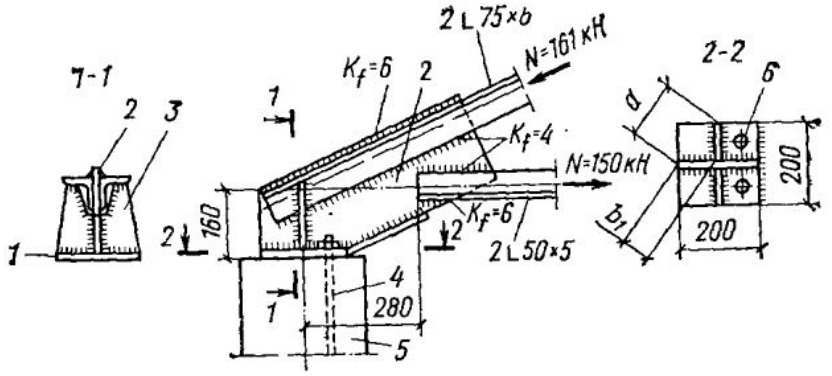


Рис. 1.19. К задаче 1.42. Опорный узел фермы

1 — плита t=16 мм; *2* — фасонка t=8 мм; *3* — ребра t=8 мм; *4* — анкерный болт d=24 мм; *5* — железобетонная колонна; *6* — отверстие в опорной плите d=50 мм

Расчет опорного узла треугольной фермы

Таблица 1.13. Коэффициент β для расчета пластин, опертых на три или две стороны

b_1/a	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	2	более 2
β	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,12	0,126	0,132	0,133

Расчет опорного узла треугольной фермы

Швы, прикрепляющие фасонку и опорные ребра к плите, рассчитываем на опорную реакцию, задаваясь минимальной толщиной шва $k_f = 0{,}6$ см

$$\Sigma l_w = R_A/(\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}) = 73{,}6/(0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1) = 9{,}7 \text{ см}.$$

Конструктивно принимаем 8 швов длиной 9,6 см каждый. Рассчитываем швы крепления опорных ребер к фасонке, принимая $k_f = 0{,}4$ см по формуле

$$\Sigma l_w = 0{,}5 R_A/(\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}) = 0{,}5 \cdot 73{,}6/0{,}7 \cdot 0{,}4 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1 = 7 \text{ см}.$$

Конструктивно принимаем четыре шва длиной 16 см каждый.

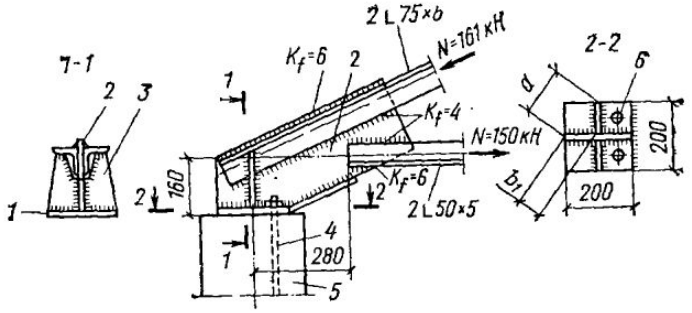


Рис. 1.19. К задаче 1.42. Опорный узел фермы

1 — плита t=16 мм; *2* — фасонка t=8 мм; *3* — ребра t=8 мм; *4* — анкерный болт d=24 мм; *5* — железобетонная колонна; *6* — отверстие в опорной плите d=50 мм