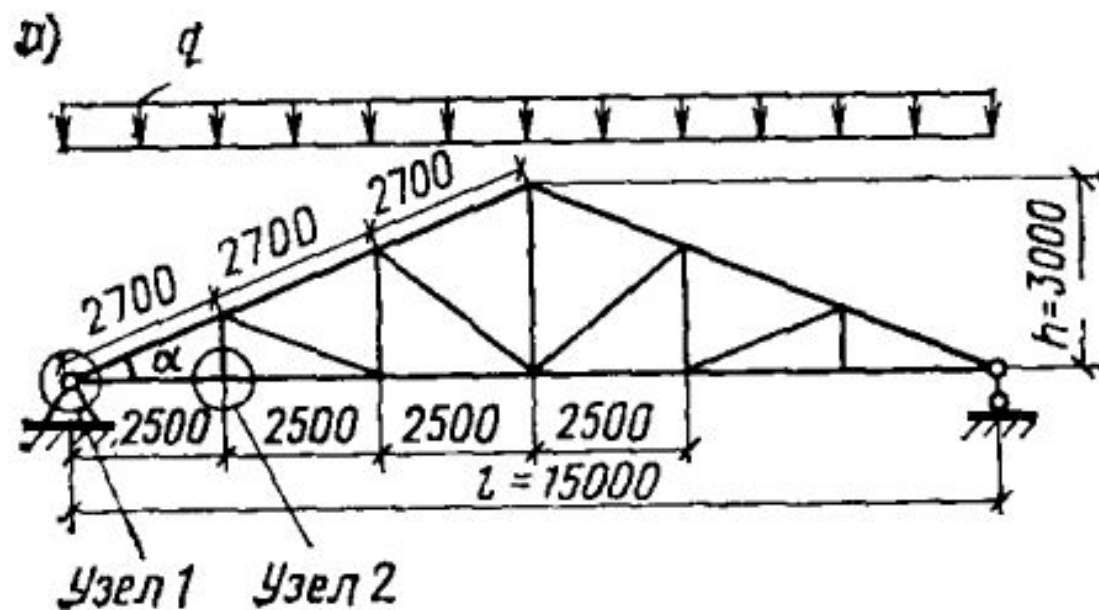


Расчет опорного узла треугольной фермы

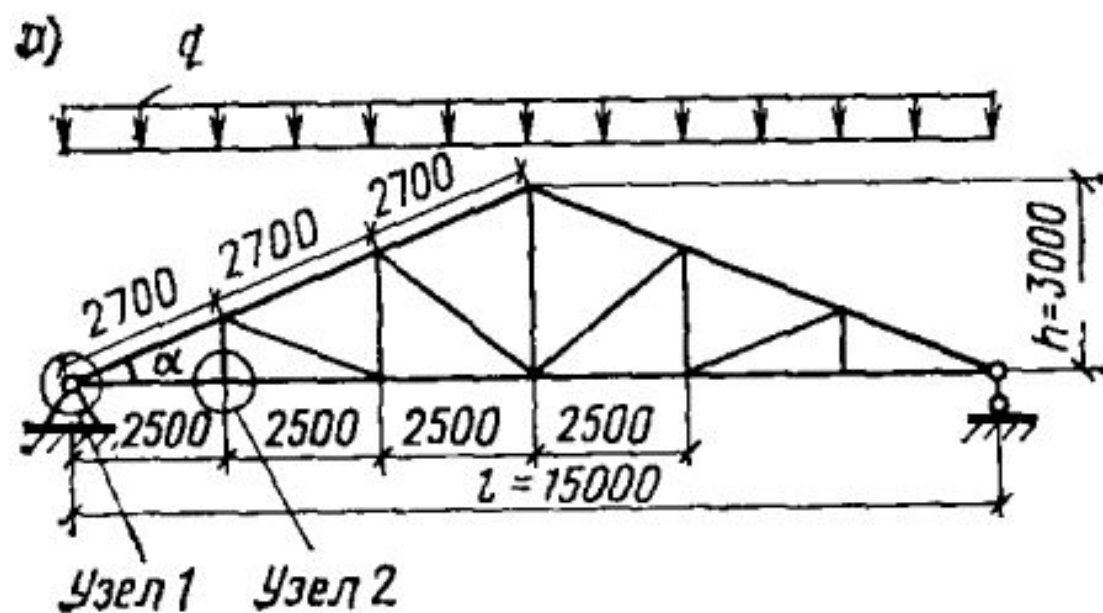
Доркин В.В. Сборник задач

Задача 1.42

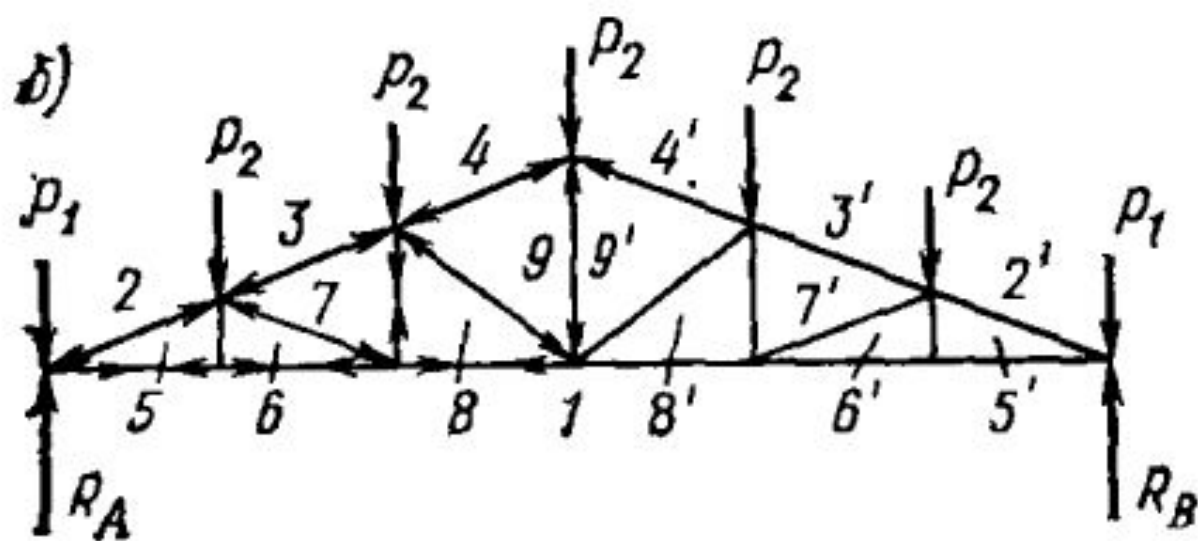
Задача 1.42. Расчетная схема



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 ВСтЗсп5. 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, $\operatorname{tg} \alpha=0,4$, $\sin \alpha=0,371$, $\cos \alpha=0,928$, $\alpha=21^\circ 48'$. 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_{ϕ}^n принимают в пределах $0,2-0,4$ кН/м². Принимаем $g_{\phi}^n=0,3$ кН/м².



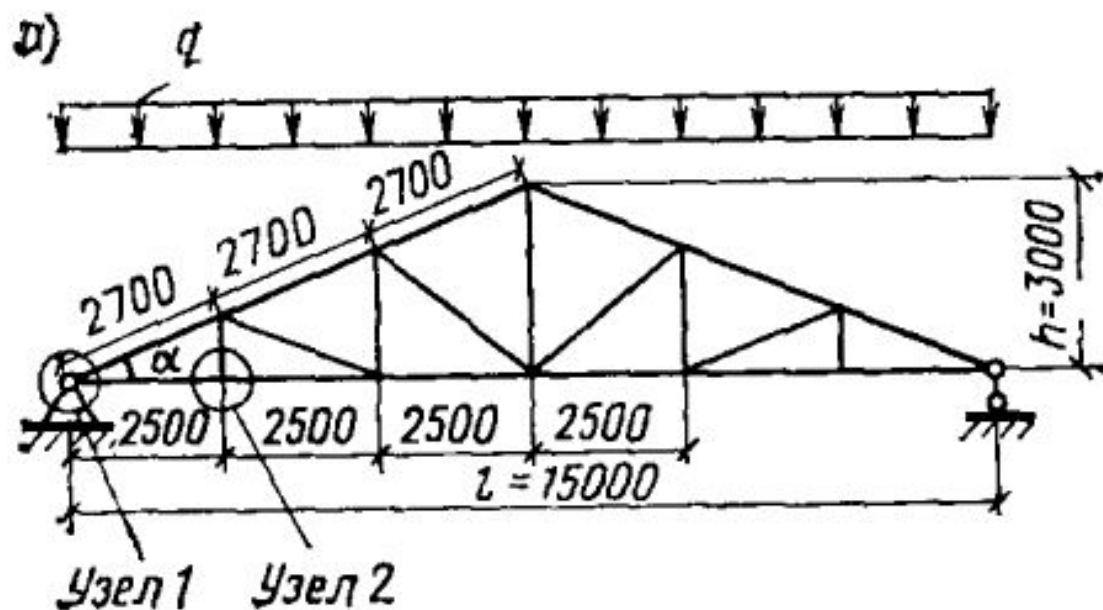
Нормативная постоянная нагрузка, приходящаяся на 1 м² горизонтальной проекции фермы,

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

Полная расчетная нагрузка на 1 м² горизонтальной проекции фермы

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

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



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

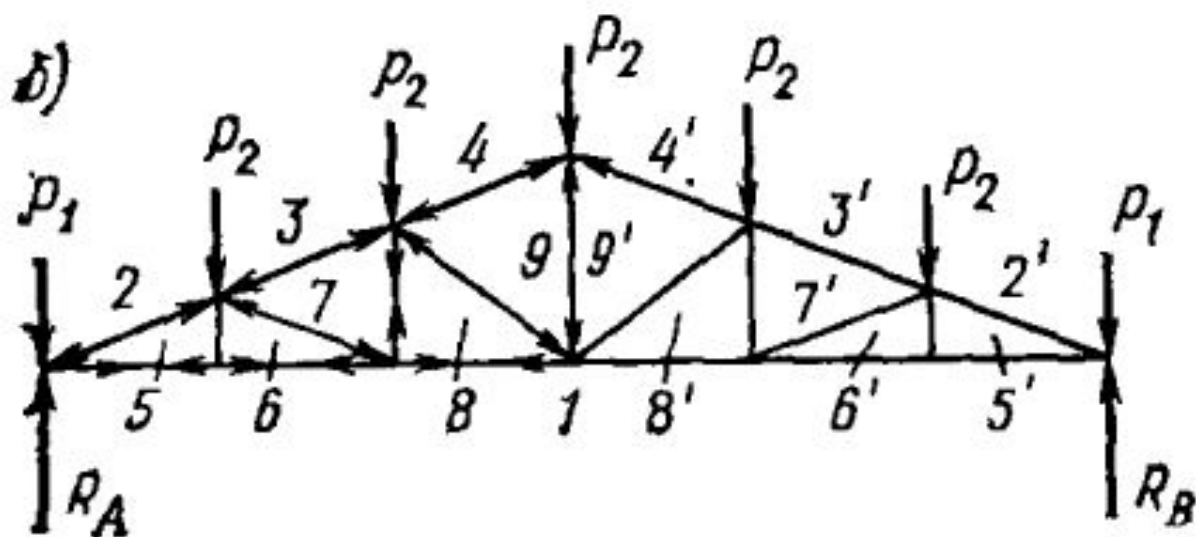
$$p_1 = (ql_n b)/2 = (1,63 \cdot 2,5 \cdot 6)/2 = 12,2 \text{ кН};$$

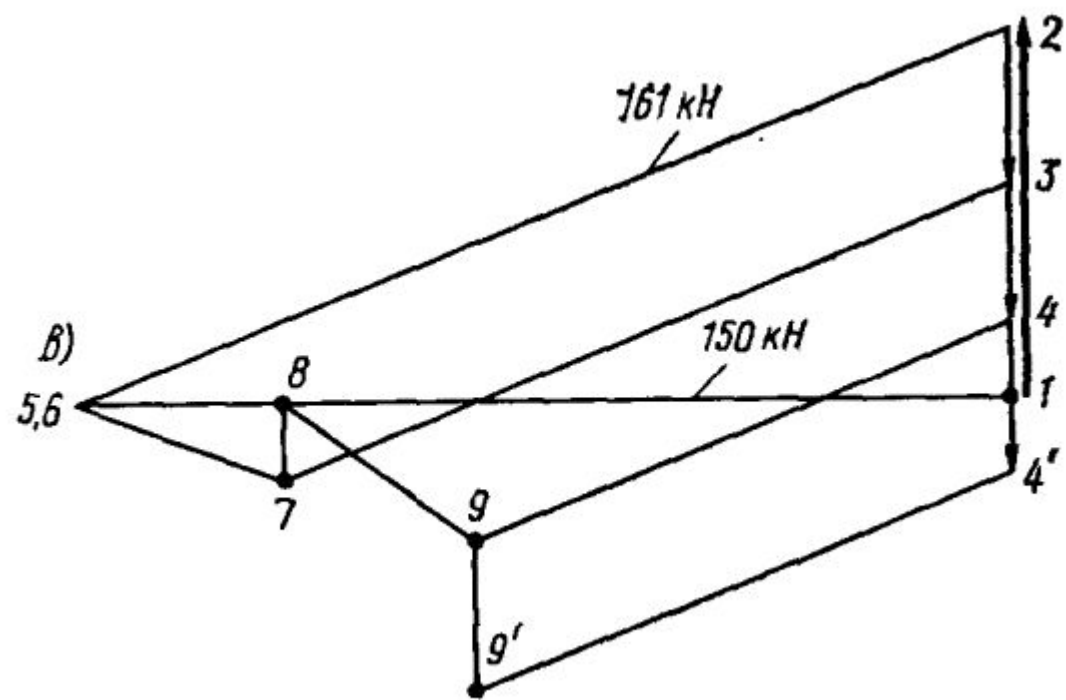
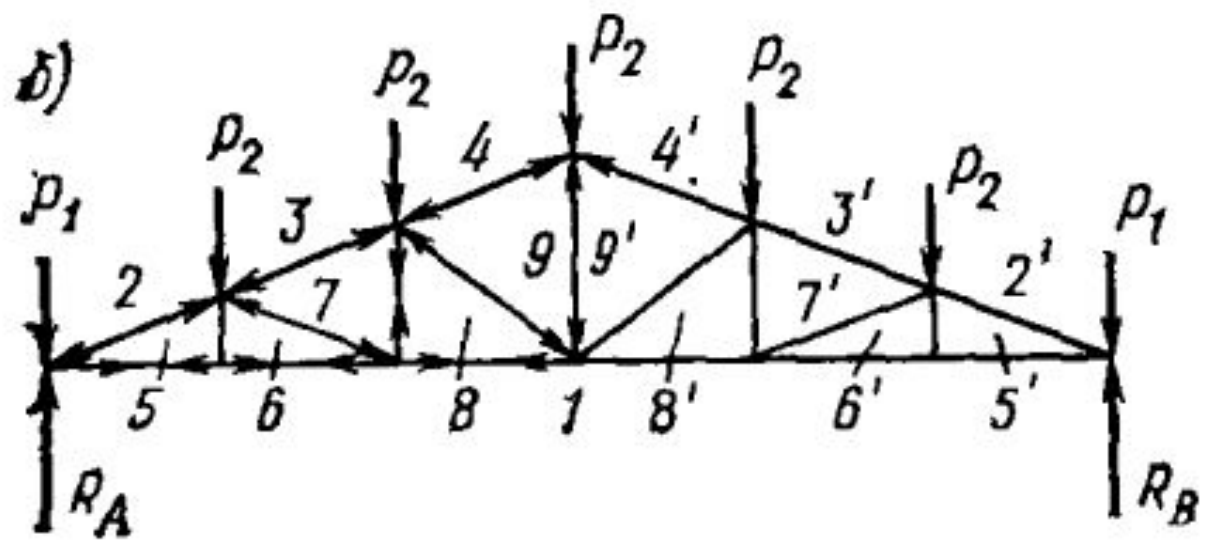
$$p_2 = ql_n b = 1,63 \cdot 2,5 \cdot 6 = 24,5 \text{ кН}.$$

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—Кремона (рис. 1.18. в).





Задача 1.42. Расчет опорного узла

Произведем расчет стержней, входящих в узел фермы.

Коэффициент условий работы

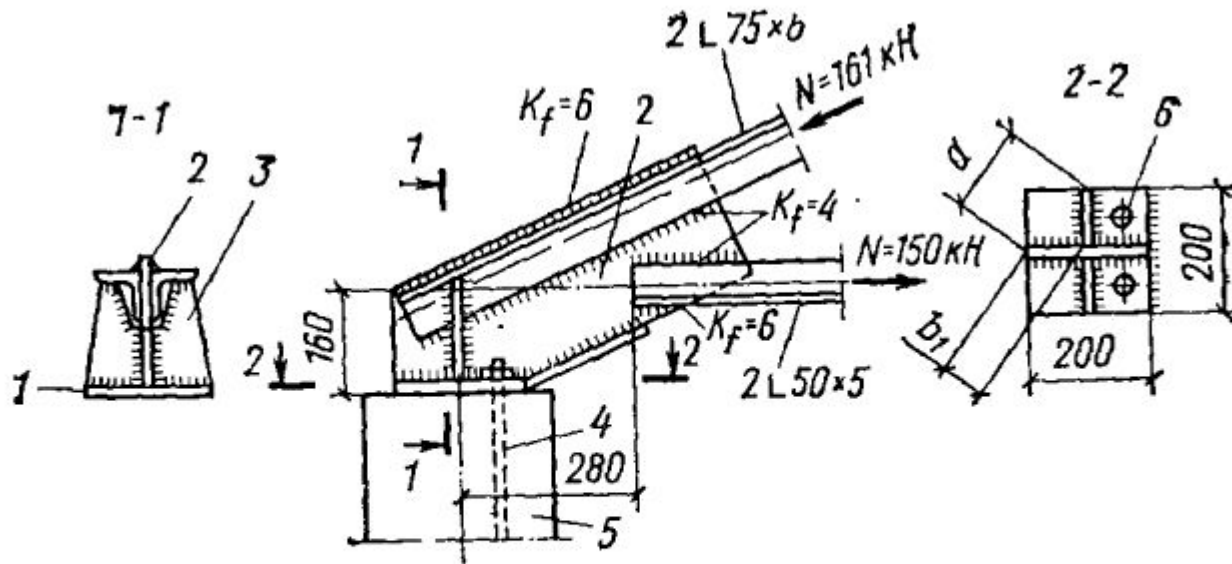


Рис. 1.19. К задаче 1.42. Опорный узел фермы

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 $\lambda \geq 60$,

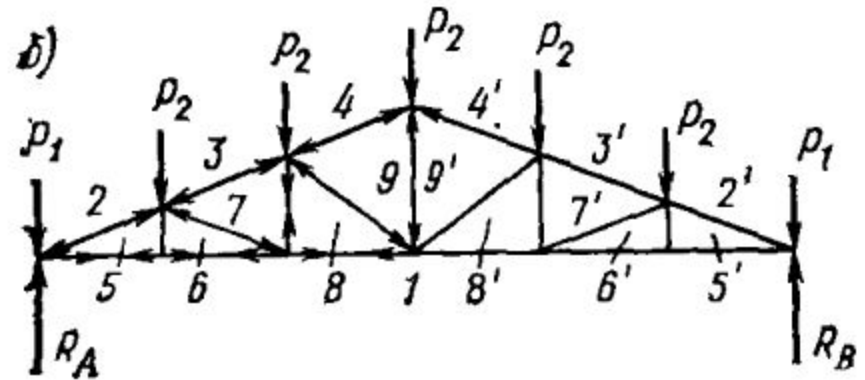
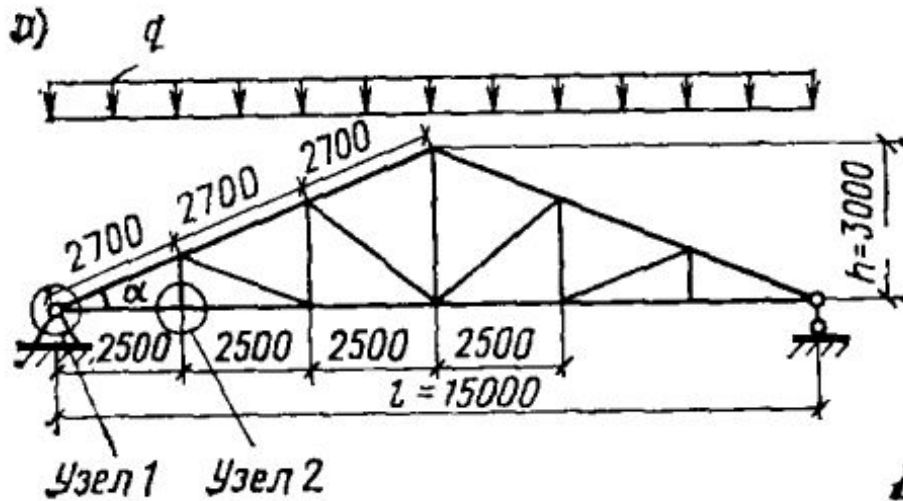
$$\gamma_c = 0,8,$$

для растянутых элементов ферм

$$\gamma_c = 0,95.$$

Расчет опорного узла треугольной фермы

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



Расчет опорного узла треугольной фермы

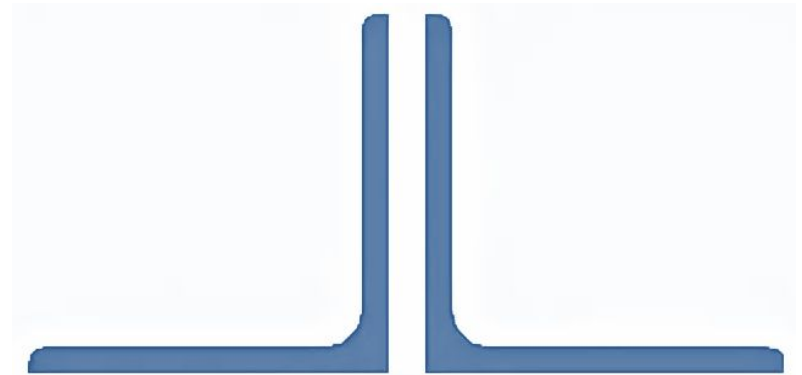
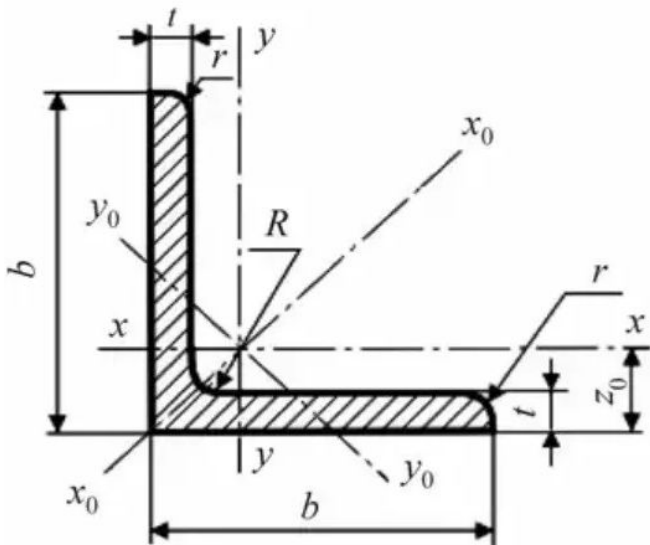
Определяем предварительно необходимую площадь сечения, задавшись $\varphi = 0,5$.

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

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

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 $\lambda_x = 117 < 120,$

$$\varphi = 0,42$$

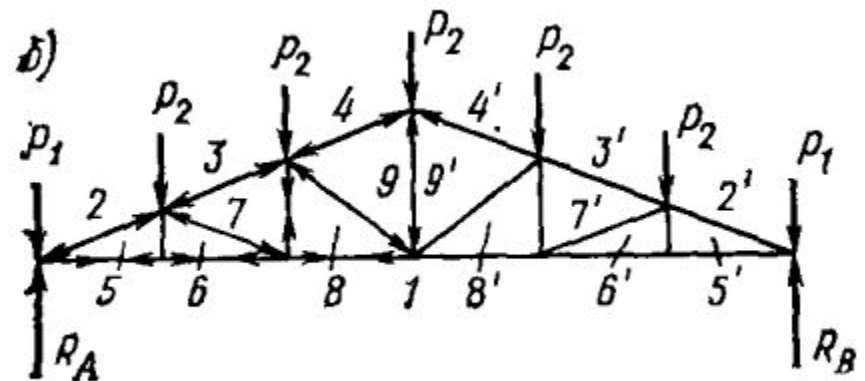
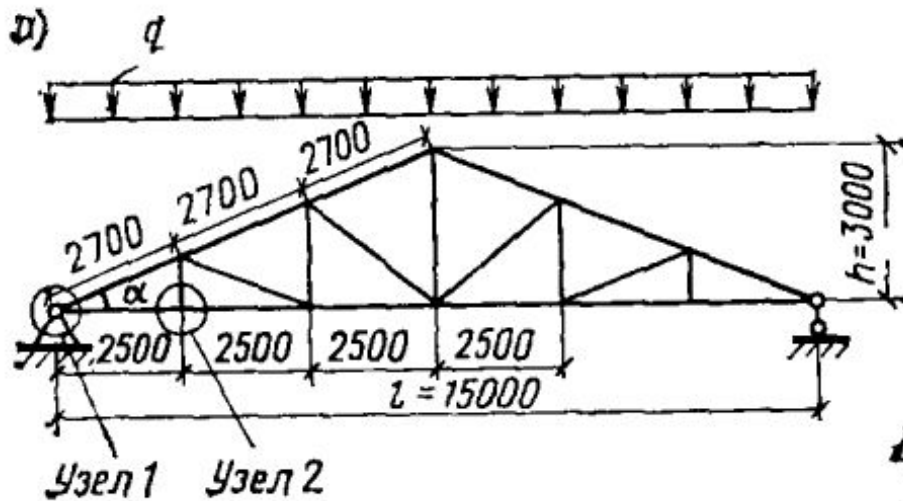
Окончательно проверяем принятое сечение

$$N/\gamma A = \frac{161}{0,42 \cdot 17,56} = 21,8 \leq R_y \gamma_c = 23,5 \cdot 0,95 = 22,3 \text{ кН/см}^2 = \\ = 223 \text{ МПа}.$$

Расчет опорного узла треугольной фермы

Расчет растянутого стержня 1—5 производим на усилии 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 .

$$A = 2 \cdot 4,8 = 9,6 \text{ см}^2; \quad I_x = 11,2 \text{ см}^4; \quad z_0 = 1,42 \text{ см}; \\ i_x = 1,53 \text{ см}.$$

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

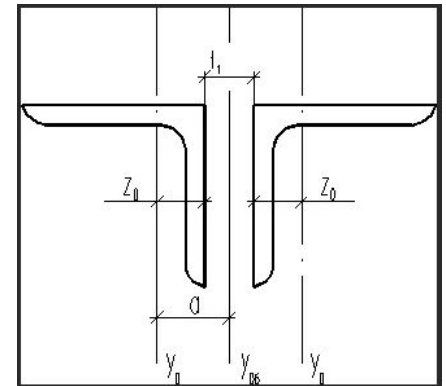
$$I_y = 2 \cdot 11,2 + 2 \cdot 4,8 (1,42 + 0,8/2)^2 = 54 \text{ см}^4;$$

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

Гибкость стержня

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

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



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

$$l_{w0} = N_o / (2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c \gamma_{wf}) = 113 / (2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1) = 7,5 \text{ см.}$$

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:

$$\text{по обушку } l_o = l_{w0} + 1 \text{ см} = 7,5 + 1 \approx 9 \text{ см;}$$

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

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). Опираение фермы производится на железобетонную колонну. Расчетное сопротивление бетона колонны на сжатие $R_b = 11,5$ МПа. Принимаем плиту размером 20×20 см. $A_{op} = 400 \text{ см}^2$. Реактивное давление под плитой

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

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 $16 \text{ мм} \geq 7,6 \text{ мм}$.

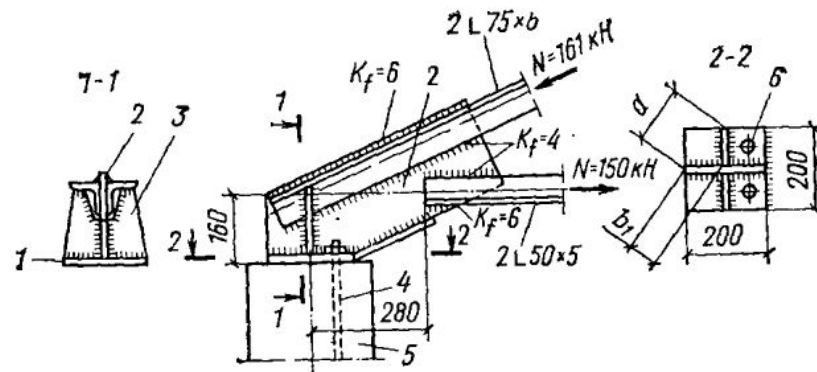


Рис. 1.19. К задаче 1.42. Опорный узел фермы

1 — плита $t=16$ мм; 2 — фанка $t=8$ 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

Т а б л и ц а 1.13. Коэффициент β для расчета пластин, опертых на три или две стороны

b_i/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.

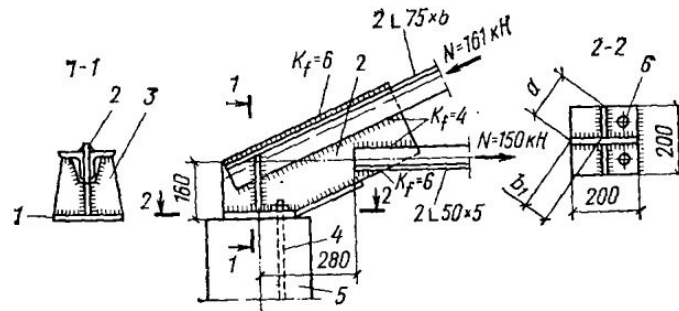


Рис. 1.19. К задаче 1.42. Опорный узел фермы

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