

Практическая работа № 17

Тема: Расчет и проектирование сварной фермы

Цель : Научиться проводить расчет ферм и конструировать опорные узлы фермы

Порядок выполнения:

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями
2. Определить нагрузки на узлы фермы согласно варианту
3. Выполнить выбор и проверку сечения стержней фермы согласно варианту
4. Ответить на контрольные вопросы в письменном виде
5. Представить **отчет по практической работе и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку в течение трех дней со дня выдачи задания.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна*.

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46
Работы отправлять на электронную почту ira.gnatyuk.60@inbox.ru

Теоретические сведения

Порядок расчета сварной фермы

1. Определить расчетное сопротивление R_y для листового и фасонного проката
2. Определить основные геометрические размеры фермы
 - 2.1. Определить высоту фермы из соотношения
$$h = \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{6}\right) l, \text{ м}$$
 - 2.2. Вычертить схему фермы в масштабе 1:100 или 1:200
 - 2.3. Вычислить $l_n = l/6$, м и d определить по схеме (измерением).
 - 2.4. Из треугольника ABC по основным соотношениям определить угол α , $\text{tg } \alpha$, $\sin \alpha$, $\cos \alpha$.
$$\text{tg } \alpha = \frac{BC}{AC} \quad \sin \alpha = \frac{BC}{AB} \quad \cos \alpha = \frac{AC}{AB}$$
3. Определить расчетные нагрузки
 - 3.1. Принять нагрузку от собственного веса фермы с учетом связей покрытия $q_\phi^H = 0,2 \dots 0 \dots 0,4 \text{ кН/м}^2$.
 - 3.2. Определить нормативную постоянную нагрузку, которая приходится

на 1 м^2 горизонтальной проекции фермы

$$q^H = (q_k^H + q_\phi^H) \cos \alpha, \quad \text{кН/м}^2.$$

Определить полную расчетную нагрузку на 1 м^2 горизонтальной проекции фермы

$$q = (q \cdot v_{fn} + P_c^n \cdot v_{fc}) v_n, \quad \text{кН/м}^2$$

где v_{fn} , v_{fc} – соответственно коэффициенты надежности для постоянной и снеговой нагрузки

3.3. Определить расчетную нагрузку на узлы фермы

$$P_1 = \frac{1}{2} (q \cdot l_n \cdot b), \quad \text{кН}$$

$$P_2 = q \cdot l_n \cdot b, \quad \text{кН.}$$

Начертить схему обозначений стержней и узловых нагрузок

4. Определить опорные реакции

$$R_A = R_B = \frac{\sum P}{2}, \quad \text{кН.}$$

5. Определить усилие в стержнях фермы.

Определить усилие в стержнях можно методом вырезания узлов, методом сквозных сечений или построением диаграммы Максвелла-Кремоны.

В данном случае используется метод сечений.

5.1. Начертить в масштабе 1:50 или 1:100 схему действия сил.

5.2. Определить усилие в верхнем и нижнем поясах, используя уравнение моментов относительно точек O_1 и O_2 :

$$N_B = \frac{2 \cdot d \cdot R_A}{h_2} \quad \text{кН}$$

$$N_A = \frac{2 \cdot l_n \cdot R_A}{h_2}, \quad \text{кН}$$

Для дальнейшего расчета нужно использовать значение большего из усилий

6. Провести расчет опорного узла

6.1. Следует принять такие коэффициенты условий работы:

- для сжатых элементов поясов и опорных раскосов ферм при расчете на стойкость $v_c = 0,95$,
- для сжатых элементов решетки ферм при гибкости $\lambda \geq 60$ - $v_c = 0,8$,
- для растянутых элементов ферм - $v_c = 0,95$.

6.2. Стержень верхнего пояса принять с двух равнополочных уголков

6.3. Расчетная длина стержня

$$l_x = l_y = d, \quad \text{см}$$

6.4. Определить предварительное значение необходимой площади сечения, приняв предварительное значение коэффициента продольного изгиба $\varphi = 0,5$:

$$A = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot v_c}, \quad \text{см}^2$$

R_y – расчетное сопротивление материала, кН/см^2

6.5. Принять по сортаменту ГОСТ 8509-72 сечение их двух равнополочных

уголков, для которых выбрать по стандарту параметры $J_{x1} = J_{y1}$, z_0 , i_x , A_1 , учитывая, что $A = 2 \cdot A_1$,

где A_1 – площадь сечения одного уголка, см^2

6.6. Определить момент инерции сечения их двух уголков относительно оси В, приняв предварительно толщину фасонки в зависимости от усилий в раскосах :

При $N \leq 250$ кН $t_\phi = 8$ мм

При $N = 250 \dots 400$ кН $t_\phi = 10$ мм

При $N = 401 \dots 600$ кН $t_\phi = 12$ мм

$$J_y = 2 \cdot J_x + 2 \cdot A_1 \left(z_0 + \frac{t_\phi}{2} \right)^2, \quad \text{см}^4$$

6.7. Определить радиус инерции сечения

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}}, \quad \text{см}$$

6.8. Определить гибкость

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}; \quad \lambda_B = \frac{l_y}{i_y}$$

Необходимо выполнение условия $\lambda < 120$. Расчет проводить по наибольшей гибкости.

6.9. Определить окончательное значение коэффициента продольного изгиба φ

6.10. Провести проверку принятого сечения :

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot v_c, \quad \text{кН/см}^2$$

7. Провести расчет растянутого стержня 1-5 нижнего пояса фермы.

Расчетная длина при одной связи - распорке посередине пролета:

$$l_x = l_n, \quad l_B = \frac{l}{2}$$

7.1. Необходимая площадь поперечного сечения:

$$A = \frac{N}{R_y \cdot v_c}, \quad \text{см}^2$$

R_y – расчетное сопротивление материала, кН/см^2

7.2. Принять по сортаменту ГОСТ 8509-72 сечение из двух равнополочных уголков, для которых выбрать по стандарту параметры $J_{x1} = J_{y1}$, z_0 , i_x , A_1 , учитывая, что $A = 2 \cdot A_1$,

где A_1 – площадь сечения одного уголка, см^2

7.3. Определить момент инерции сечения из двух уголков относительно оси У

$$J_y = 2 \cdot J_x + 2 \cdot A_1 \left(z_0 + \frac{t_\phi}{2} \right)^2, \quad \text{см}^4$$

7.4. Определить радиус инерции сечения

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{2 \cdot A}}, \quad \text{см}$$

7.5. Определить гибкость $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}; \quad \lambda_B = \frac{l_y}{i_y}$

Необходимо выполнение условия $\lambda < 400$.

8. Провести расчет сварных швов

8.1. Согласно нормативам выбрать коэффициенты β_f и R_{wf}

Коэффициент $v_{wf} = 1$ для всех способов сварки.

Уголки стержня 2-5 с усилием N соединяют двусторонним угловым швом катетом k_{f1} , равным толщине выбранного уголка для верхней панели со стороны обушка и катетом k_{f2} , равным толщине нижней панели со стороны пера.

8.2. Определить усилие, которые приходится на обушок:

$$N_0 = 0,7N \text{ , кН.}$$

8.3. Определить усилие, которые приходится на перо:

$$N_p = 0,3 * N \text{ , кН.}$$

8.4. Определить расчетную длину шва на обушок из условия среза металла шва:

$$l_{WO} = \frac{N_0}{2 * \beta_f * k_{f1} * R_{wf} * v_c * v_{wf}} \text{ , см}$$

$$v_{wf} = 1, v_c = 1$$

8.5. Определить расчетную длину шва на перо из условия среза металла шва:

$$l_{WP} = \frac{N_p}{2 * \beta_f * k_{f2} * R_{wf} * v_c * v_{wf}} \text{ , см}$$

8.6. Определить длину швов с учетом непроваров:

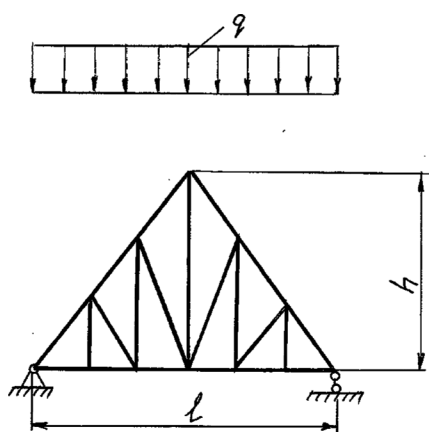
$$\text{По обушку } l_0 = l_{WO} + 1 \text{ , см}$$

$$\text{По перу } l_p = l_{WP} + 1 \text{ , см}$$

Аналогично провести расчет сварных швов для крепления стержней 1-5 нижней панели фермы

8.7. Выполнить чертеж опорного узла фермы

Задание для практической работы



Провести расчет фермы покрытия. В узлах фермы вложены пролеты, к которым прикреплена легкая кровля с нормативной нагрузкой от собственного веса $q_k^H = 0,62 \text{ кН/м}^2$. Снеговая нормативная нагрузка $P_c^H = 0,5 \text{ кН/м}^2$. Коэффициент надежности по назначению $v_f = 1$. Расстояние ферм $B = 6 \text{ м}$. Для опорного узла фермы подобрать размеры сечения и провести расчет сварных швов.

Рисунок 1 - Расчетная схема фермы

Исходные данные по вариантам

№ вар	Материал фермы	Расчетный пролет фермы l , м	Коэффициент для постоянной нагрузки ψ_{fn}	Коэффициент для снеговой нагрузки ψ_{sc}	Способ сварки и сварочные материалы
1	09Г2	12	1,1	1,4	Автоматическая (Св. 08А)
2	18пс	13	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН3)
3	ВСт3кп1	14	1,1	1,4	Полуавтоматическая (Св. 08Г2С)
4	14Г2	15	1,1	1,4	Ручная электродуговая (Э 42А)
5	10Г2С1	16	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН8)
6	09Г2	17	1,1	1,4	Автоматическая (Св. 08А)
7	18пс	18	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН3)
8	ВСт3кп1	19	1,1	1,4	Полуавтоматическая (Св. 08Г2С)
9	14Г2	20	1,1	1,4	Ручное электродуговая (Е 42А)
10	10Г2С1	21	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН8)
11	09Г2	22	1,1	1,4	Автоматическая (Св. 08А)
12	18пс	23	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН3)
13	ВСт3кп1	24	1,1	1,4	Полуавтоматическая (Св. 08Г2С)
14	14Г2	25	1,1	1,4	Ручное электродуговая (Е 42А)
15	10Г2С1	26	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН8)
16	09Г2	27	1,1	1,4	Автоматическая (Св. 08А)
17	18пс	18	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН3)
18	ВСт3кп1	20	1,1	1,4	Полуавтоматическая (Св. 08Г2С)
19	14Г2	22	1,1	1,4	Ручное электродуговая (Е 42А)
20	10Г2С1	24	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН8)
21	09Г2	26	1,1	1,4	Автоматическая (Св. 08А)
22	18пс	18	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН3)
23	ВСт3кп1	16	1,1	1,4	Полуавтоматическая (Св. 08Г2С)
24	14Г2	22	1,1	1,4	Ручное электродуговая (Е 42А)
25	10Г2С1	24	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН8)
26	09Г2	25	1,1	1,4	Автоматическая (Св. 08А)
27	18пс	21	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН3)
28	ВСт3кп1	20	1,1	1,4	Полуавтоматическая (Св. 08Г2С)
29	14Г2	18	1,1	1,4	Ручное электродуговая (Е 42А)
30	10Г2С1	16	1,1	1,4	Полуавтоматическая (ПП-АН8)

Пример выполнения практической работы

Определить нагрузки на узлы фермы.

Исходные данные:

В узлах фермы вложены пролеты, к которым прикреплена легкая кровля с нормативной нагрузкой от собственного веса $q_k^H=0,62$ кН/м². Снеговая нормативная нагрузка $P_c^H=0,5$ кН/м². Коэффициент надежности по назначению $\gamma_r = 1$. Расстояние ферм $b = 6$ м. Коэффициент для постоянной нагрузки $\gamma_{fn} = 1,1$. Коэффициент для снеговой нагрузки $\gamma_{fc} = 1,4$. Расчетный пролет фермы $l = 15$ м. Материал-Вст3сп5.

Решение

1. Расчетное сопротивление R_y для листового и фасонного проката (см.табл.1).
 $R_y = 235$ МПа - для фасонного профиля
 $R_y = 225$ МПа - для листового профиля

Таблица 1

Нормативные и расчетные сопротивления стального проката для строительных конструкций

Марка стали	Прокат	Толщина, мм	Нормативное сопротивление R_{yn} , МПа	Коэффициент надежности по материалу γ_m	Расчетное сопротивление R_y , МПа
10Г2С1	Листовой, фасонный	4...9	355	1,05	340
		10...20	345	1,05	330
		21...32	335	1,05	320
		33...60	325	1,05	310
		61...100	325	1,05	310
ВСт3кп1	Листовой	4...10	225	1,025	220
		11...20	215	1,025	210
	Фасонный	4...10	235	1,025	230
		11...20	225	1,025	220
		21...30	215	1,025	210
09Г2	Листовой, фасонный	4...20	305	1,05	290
		21...32	295	1,05	280
18пс	Листовой	4...20	235	1,025	230
		Фасонный	4...20	245	1,025
	Фасонный	21...30	225	1,025	220
		31...40	235	1,025	230
14Г2	Листовой, фасонный	4...9	335	1,05	320
		10...32	325	1,05	310

2. Основные геометрические размеры фермы

2.1. Высота фермы $h = \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{6}\right) l = 3 \text{ м}$

Схема фермы в масштабе 1:200 (рисунок 2)

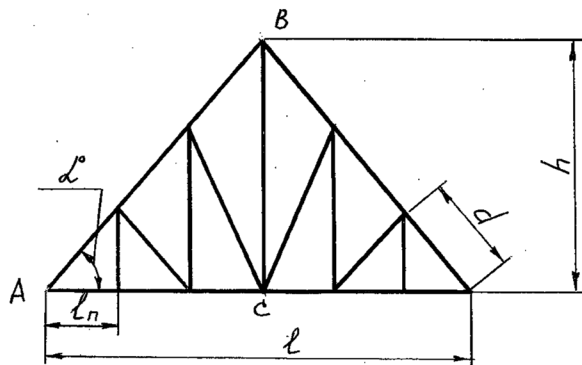


Рисунок 2 - Схема фермы

2.2. Длина пролета фермы $l_n = l/6 = 15/6 = 2,5 \text{ м}$, $d = 270 \text{ см}$

2.3. Из треугольника ABC по основным соотношениям

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{300}{750} = 0,4$$

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AB} = \frac{300}{810} = 0,371$$

$$\cos \alpha = \frac{AC}{AB} = \frac{750}{810} = 0,928 \quad , \quad \alpha = 21^{\circ}48'$$

3. Расчетные нагрузки

3.1. Принимаем нагрузку от собственного веса фермы с учетом связей покрытия $q_{\phi}^H = 0,3 \text{ кН/м}^2$.

3.2. Нормативная постоянная нагрузка, приходящаяся на 1 м^2 горизонтальной проекции фермы

$$q^H = (q_k^H + q_{\phi}^H) \cos \alpha = (0,62 + 0,3) 0,928 = 0,85 \text{ кН/м}^2.$$

Полная расчетная нагрузка на 1 м^2 горизонтальной проекции фермы

$$q = (q \cdot v_{fn} + P_c^n \cdot v_{fc}) v_n = (0,85 \cdot 1,1 + 0,5 \cdot 1,4) \cdot 1,0 = 1,63 \text{ кН/м}^2$$

где $v_{fn} = 1,1$, $v_{fc} = 1,4$ – соответственно коэффициенты надежности для постоянной и снеговой нагрузки

3.3. Расчетная нагрузка на узлы фермы

$$P_1 = \frac{1}{2} (q \cdot l_n \cdot b) = \frac{1}{2} (1,63 \cdot 2,5 \cdot 6) = 12,2 \text{ кН}$$

$$P_2 = q \cdot l_n \cdot b = 1,63 \cdot 2,5 \cdot 6 = 24,4 \text{ кН}$$

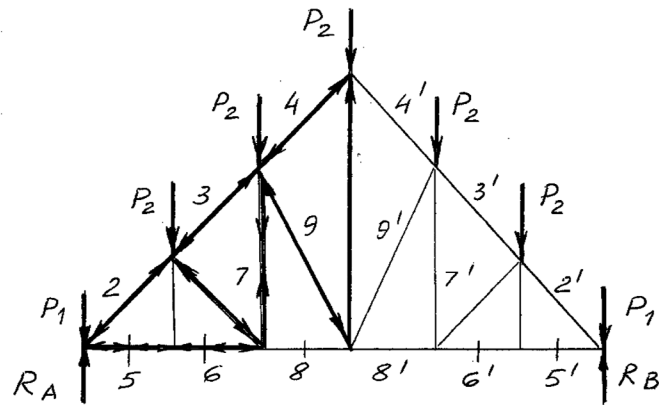


Рисунок 3 - Схема обозначений стержней и узловых нагрузок

4. Опорные реакции

$$R_A = R_B = \frac{\sum P}{2} = \frac{2 \cdot 12,2 + 5 \cdot 24,4}{2} = 73,5 \text{ кН}$$

5. Усилия в стержнях фермы.

Определить усилие в стержнях можно методом вырезания узлов, методом сквозных сечений или построением диаграммы Максвелла-Кремоны.

В данном случае используется метод сечений.

5.1. Чертим в масштабе 1:100 схему действия сил (рисунок 4).

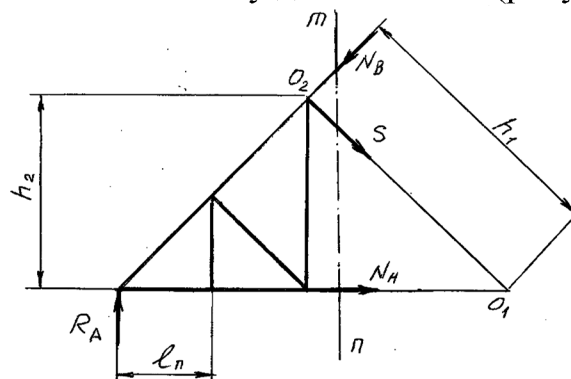


Рисунок 4 - Схема действия сил в стержнях фермы

5.2. Определить усилие в верхнем и нижнем поясах, используя уравнение моментов относительно точек O1 и O2:

$$N_B = \frac{2 \cdot d \cdot R_A}{h_2} = \frac{2 \cdot 270 \cdot 73,5}{123} = 323 \text{ кН}$$

$$N_A = \frac{2 \cdot l_n \cdot R_A}{h_2} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 73,5}{123} = 300 \text{ кН}$$

Для дальнейших расчетов необходимо использовать значение большего из усилий, т.е. $N_B = 323 \text{ кН}$

6.Стержень верхнего пояса принимаем из двух равнобоких уголков.

6.3. Расчетная длина стержня

$$l_x = l_y = d = 270 \text{ см}$$

6.4. Ориентировочное значение необходимой площади сечения, приняв предварительное значение коэффициента продольного изгиба $\varphi = 0,5$:

$$A = \frac{N}{\varphi * R_y * \nu_c} = \frac{323}{0,5 * 23,5 * 0,95} = 28,9 \text{ см}^2$$

R_y – расчетное сопротивление материала, кН/см²

6.5. Принимаем по сортаменту ГОСТ 8509-72

Сечение из двух равнобоких уголков 100 х 8, для которых

$$J_{x1} = J_{y1} = 147 \text{ см}^4,$$

$$z_0 = 2,75 \text{ см},$$

$$i_x = 3,07 \text{ см},$$

$$A_1 = 15,6 \text{ см}^2$$

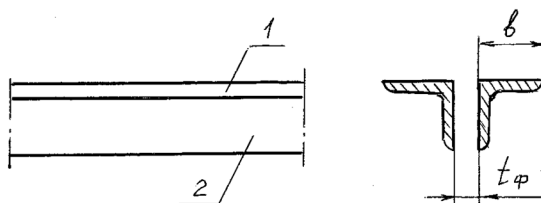


Рисунок 5 - Сечение из двух уголков :
1- обушок, 2- перо

6.6 Момент инерции сечения из двух уголков относительно оси Y,

Толщина фасонки при $N = 250 \dots 400$ кН предварительно принята

$$t_\phi = 10 \text{ мм}$$

$$J_y = 2 \cdot J_x + 2 \cdot A_1 \left(z_0 + \frac{t_\phi}{2} \right)^2 = 2 \cdot 147 + 2 \cdot 15,6 \cdot \left(2,75 + \frac{1,0}{2} \right)^2 = 624 \text{ см}^4$$

7. Радиус инерции сечения стержня

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = \sqrt{\frac{624}{2 * 15,6}} = 4,47 \text{ см}$$

8. Гибкость стержней фермы

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{270}{3,07} = 88 ; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{270}{4,47} = 60$$

Условие $\lambda_y < 120$ выполняется. Расчет проводим по наибольшей гибкости

9. Окончательное значение коэффициента продольного изгиба φ (см. табл.4).

$$\varphi = 0,6$$

10. Проверка принятого сечения :

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad \text{кН/см}^2$$
$$\frac{323}{0,6 \cdot 28,9} = 18,6 \text{ кН/см}^2 \leq R_y \cdot \gamma_c = 23,5 \cdot 0,95 = 22,3 \text{ кН/см}^2$$

Условие прочности выполнено

Контрольные вопросы:

1. Как определяют расчетные усилия в стержнях ферм?
2. Каким еще методом можно это сделать?
3. Почему значения коэффициентов надежности для снеговой нагрузки больше, чем для постоянной нагрузки?
4. Что представляет собой нормативная постоянная нагрузка?
5. От чего зависит расчетное сопротивление металла?
6. Какие типы сечений рекомендуются для сжатых и растянутых поясов?
7. Какие типы сечений рекомендуются для сжатых и растянутых раскосов?
8. В чем преимущество и недостатки трубчатых поперечных сечений?
9. Как подбирают сечения сжатых стержней?
10. Какие типы опорных частей для ферм могут быть рекомендованы?