

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

Железобетонные конструкции

Расчет изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля с одиночной арматурой по нормальным сечениям. Расчет изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного профиля по наклонным сечениям на действие поперечной силы.

Методические указания к выполнению задания.

Осуществить следующие этапы

1. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для железобетонных балок.
2. Подбор продольного армирования ЖБ балки
3. Подбор поперечного армирования ЖБ балки
4. Подбор продольного армирования внецентренно сжатой железобетонной колонны

Краткие теоретические сведения.

Целью работы является формирование навыков начального уровня по расчету и конструированию железобетонного изгибаемого элемента - балки прямоугольного сечения.

Для изгибаемых элементов, таких как балки, расчет выполняется на действие изгибающих моментов (расчет по нормальным сечениям) и поперечных сил (расчет по наклонным сечениям).

Задается расстояние от крайнего растянутого волокна бетона до центра тяжести арматуры (при установке продольной арматуры в один ряд по высоте, $a = 3 \dots 5$ см). После этого определяют рабочую высоту сечения изгибаемого железобетонного элемента: $h_0 = h - a$.

Находят значение коэффициента α_m :

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b \cdot h_0^2} \quad (1)$$

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию (МПа), b – ширина поперечного сечения балки (м).

Коэффициент α_m не должен превышать граничного значения $\alpha_R = \xi_R(1 - 0,5\xi_R)$, где ξ_R – граничное значение относительной высоты сжатой зоны, определяемое по п.8.1.6 (СП 63.13330) Если значение коэффициента $\alpha_m > \alpha_R$, увеличивают высоту поперечного сечения балки, повышают класс бетона или предусматривают установку продольной рабочей арматуры в сжатой зоне сечения изгибаемого элемента, при этом принимая $\alpha_m = \alpha_R$.

По величине коэффициента α_m , находят значение относительной высоты сжатой зоны:

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}, \quad (2)$$

Определяют требуемую площадь арматуры:

$$A_s = \frac{R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b \cdot h_0 \cdot \xi}{R_s}, \quad (3)$$

R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению.

По сортаменту арматуры подбирают диаметр и количество арматурных стержней.

Находят процент армирования и сравнивают его с минимальным:

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \cdot 100\% \geq \mu_{min} = 0,1\%. \quad (4)$$

Назначают площадь стержней продольной арматуры в сжатой зоне A'_s из соображения $A'_s \cong 0,1 \cdot A_s$ и в соответствии с сортаментом арматуры.

Предварительно назначают диаметр стержней поперечной арматуры:

$$d_{sw} \geq 0,25 \cdot d_s, \quad (5)$$

а также шаг таких стержней, исходя из требований п. 10.3.13 [2].

Проверяют прочность изгибаемого элемента (балки) по бетонной полосе между наклонными сечениями из условия:

$$Q \leq 0,3 \cdot R_b \cdot b \cdot h_0, \quad (6)$$

где Q – поперечная сила в нормальном сечении элемента. Если условие не выполняется – увеличивают размеры поперечного сечения элемента.

Выполняют проверку прочности наклонных сечений на действие поперечной силы из условия:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (7)$$

где Q_b – поперечная сила, воспринимаемая бетоном и определяемая по формуле:

$$0,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0 \leq Q_b = \frac{1,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C} \leq 2,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0. \quad (8)$$

Q_{sw} – поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой (хомутами) в наклонном сечении и определяемая по формуле:

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}C, \quad (9)$$

где q_{sw} – усилие в поперечной арматуре на единицу длины элемента, равное

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w}, \quad (10)$$

где R_{sw} – расчетное сопротивление стержней поперечной арматуры (хомутов), принимаемое по табл. 6.15 (СП 63.13330) в зависимости от заданного класса арматуры; A_{sw} – площадь поперечных сечений всех стержней, попадающих в одно нормальное сечение изгибаемого элемента.

C – проекция наиболее опасного наклонного сечения, определяемая по формуле:

$$C = \sqrt{\frac{1,5R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{q_{sw} + q}}. \quad (11)$$

При этом длину проекции C при вычислении Q_{sw} принимают не менее $1,0 h_0$ и не более $2,0 h_0$.

Пример расчета и конструирования балки

Дано: свободно опертая железобетонная балка с расчетным пролетом $l_0 = 5,45$ м нагружена равномерно распределенной нагрузкой $q = 40$ кН·м.

Требуется: выполнить предварительную компоновку балки, расчет по первой группе предельных состояний по нормальным и наклонным сечениям, подобрать продольную и поперечную арматуру.

Решение:

Предварительно назначаем размеры поперечного сечения балки:

$$h = \frac{545}{11} \approx 50 \text{ см}; \quad b = 0,4 \cdot 50 = 20 \text{ см}.$$

1. Для железобетонной балки без предварительного напряжения арматуры примем бетон тяжелый класса по прочности на сжатие В30, для которого по табл. 6.8 (СП 63.13330) $R_b = 17$ МПа, $R_{bt} = 1,15$ МПа. В качестве продольной ненапрягаемой арматуры выберем арматуру периодического

профиля класса А400, для которой по табл. 6.14 (СП 63.13330) $R_s = 340$ МПа. В качестве поперечной арматуры примем арматуру класса В500, для которой по табл. 6.15 (СП 63.13330) $R_{sw} = 300$ МПа. Поскольку расчет выполняется на действие полной нагрузки, включающей в т.ч. и кратковременную часть, то $\gamma_{b1} = 1,0$. Прочие коэффициенты условий работы вводить в расчет не требуется.

2. Вычислим усилия (изгибающие моменты и поперечные силы) в наиболее нагруженных сечениях балки:

$$M = \frac{q \cdot l_0^2}{8} = \frac{40 \cdot 5,45^2}{8} = 150 \text{ кНм};$$

$$Q = \frac{q \cdot l_0}{2} = \frac{40 \cdot 5,45}{2} = 109 \text{ кН}.$$

3. Зададим расстояние от крайнего растянутого волокна бетона до центра тяжести арматуры $a = 4$ см и определим рабочую высоту сечения: $h_0 = 50 - 4 = 46$ см.

4. Находим значение коэффициента α_m :

$$\alpha_m = \frac{150 \cdot 10^6}{17 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 460^2} = 0,21 < \alpha_R = 0,39.$$

5. По величине коэффициента α_m , находим значение относительной высоты сжатой зоны:

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,21} = 0,24.$$

6. Определяют требуемую площадь арматуры:

$$A_s = \frac{17 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 460 \cdot 0,24}{340} = 1104 \text{ мм}^2.$$

По сортаменту арматуры принимаем 3Ø22 А400, для которых $A_s = 1140 \text{ мм}^2$.

7. Выполняем проверку процента армирования:

$$\mu = \frac{1140}{200 \cdot 460} \cdot 100\% = 1,24\% \geq \mu_{min} = 0,1\%.$$

8. По сортаменту арматуры принимаем 3Ø8 А400 стержней продольной арматуры в сжатой зоне, что составляет $A'_s = 151 \text{ мм}^2 \cong 0,1 \cdot A_s$.

9. Предварительно назначаем диаметр стержней поперечной арматуры:

$$d_{sw} = 6 \text{ мм} \geq 0,25 \cdot 22 = 5,5 \text{ мм},$$

также шаг стержней $s_w = 200$ мм на приопорном участке и $s_w = 300$ мм в средней части балки.

10. Проверяем прочность балки по бетонной полосе между наклонными сечениями из условия:

$$Q = 109 \text{ кН} \leq 0,3 \cdot 17 \cdot 200 \cdot 460 \cdot 10^{-3} = 469 \text{ кН}.$$

11. Найдем интенсивность усилий в поперечной арматуре на единицу длины элемента:

$$q_{sw} = \frac{300 \cdot 151}{200} = 226,5 \text{ Н/мм}^2 = 226,5 \text{ кН/м}^2.$$

Тогда проекция наиболее опасного наклонного сечения

$$c = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 1,15 \cdot 200 \cdot 460^2}{226,5 + 40}} = 523 \text{ мм}.$$

Найдем поперечную силу, воспринимаемую бетоном:

$$0,5 \cdot 1,15 \cdot 200 \cdot 460 \cdot 10^{-3} = 52,9 \text{ кН} \leq Q_b,$$

$$Q_b = \frac{1,5 \cdot 1,15 \cdot 200 \cdot 460^2 \cdot 10^{-3}}{523} = 139,6 \text{ кН},$$

$$Q_b \leq 2,5 \cdot 1,15 \cdot 200 \cdot 460 \cdot 10^{-3} = 264,5 \text{ кН}.$$

Принимаем окончательно $Q_b = 139,6 \text{ кН} > Q = 109 \text{ кН}$. Таким образом, для восприятия поперечной силы в наклонном сечении достаточно бетона, расчет Q_{sw} не производим, однако устанавливаем поперечную арматуру 3Ø6 В500 конструктивно с шагом в приопорной зоне ($\sim l_0/4$) 200 мм и в средней части балки с шагом 300 мм. Конструктивное решение балки приведено на рис. 1.

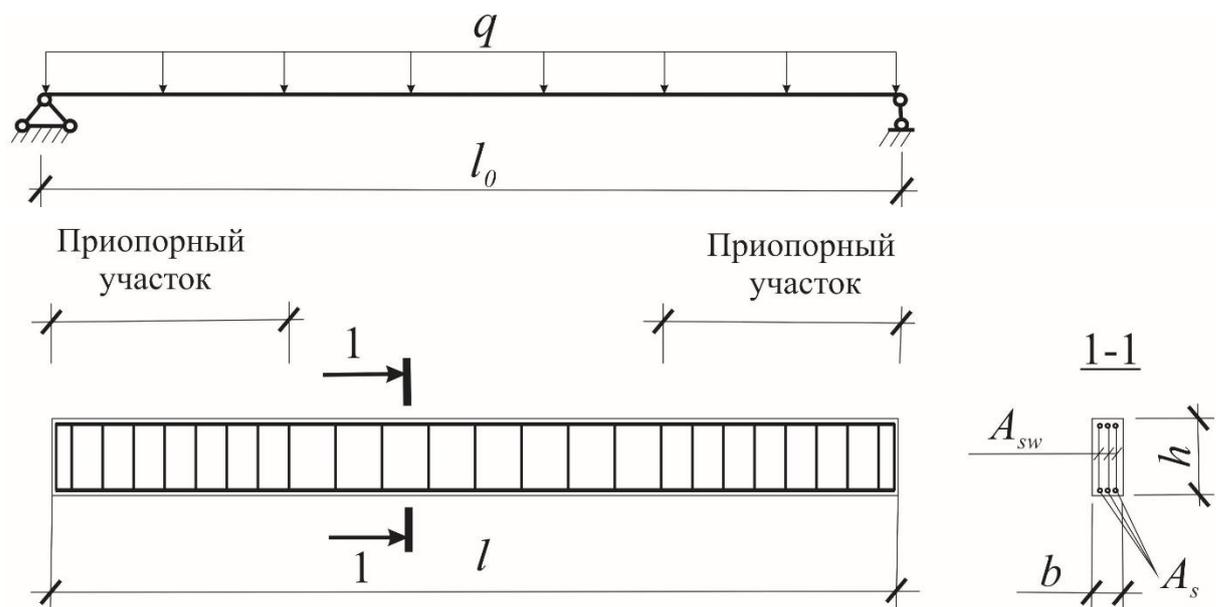


Рис. 1. Схема к расчету и конструированию железобетонной балки

Задания для самостоятельного выполнения

Дано: свободно опертая железобетонная балка, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой q . Конструктивные размеры балки, размеры поперечного сечения приведены на рис. 2. Материалы для конструирования балки, а также нагрузка приведены в табл. 1.

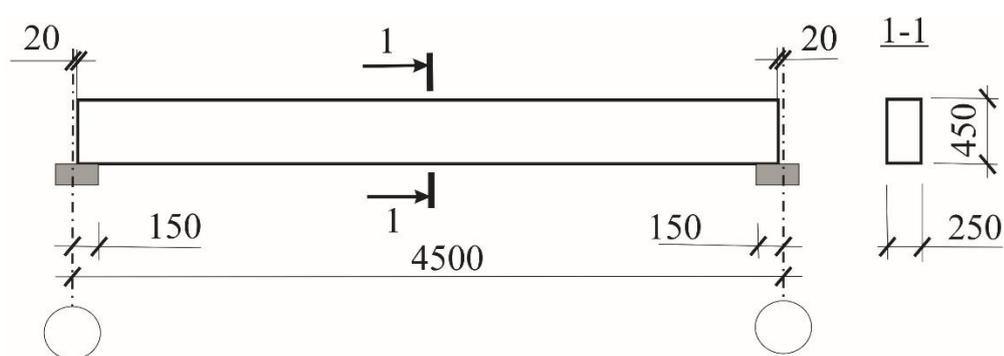


Рис. 2. Размеры железобетонной балки

Требуется: выполнить расчет балки по нормальным и наклонным сечениям, подобрать продольную и при необходимости поперечную арматуру.

Исходные данные к задаче

№ варианта	Нагрузка q , кН/м ²	Бетон класса	Продольная рабочая арматура
1	10	B20	A500
2	20	B15	A400
3	15	B25	A500
4	25	B30	A400
5	30	B15	A500
6	35	B20	A400
7	40	B25	A500
8	45	B30	A400
9	50	B15	A500
10	55	B20	A400
11	60	B25	A500
12	65	B30	A400
13	70	B15	A500
14	75	B20	A400
15	80	B25	A500
16	22	B30	A400
17	32	B15	A500
18	42	B20	A400
19	52	B25	A500
20	62	B30	A400
21	72	B15	A500
22	16	B20	A400
23	26	B25	A500
24	28	B30	A400
25	34	B15	A500
26	36	B20	A400
27	38	B25	A500
28	44	B30	A400
29	46	B15	A500
30	48	B20	A400