

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Мосты, транспортные тоннели и геодезии»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

«Проектирование железобетонных конструкций инженерных сооружений из обычного ненапряженного железобетона».

к практическим занятиям по курсу

«Инженерные сооружения в транспортном строительстве»

для студентов по направлению подготовки 270800.62

«Строительство», профиль «Автомобильные дороги»

Часть 1. Расчеты на прочность железобетонных изгибаемых моментов.

Казань 2015

УДК 624.21.09

ББК 38я73

М14

М14 Методические указания «Проектирование железобетонных конструкций инженерных сооружений из обычного ненапряженного железобетона» к практическим занятиям по курсу «Инженерные сооружения в транспортном строительстве» для студентов по направлению подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» Часть 1. Расчеты на прочность железобетонных изгибаемых моментов. / Сост. Г.П. Иванов, О.К.Петропавловских – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитек.-строит. ун-та, 2015.- 32 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В настоящих методических указаниях рассматриваются вопросы проектирования железобетонных конструкций, расчета и конструирования изгибаемых элементов прямоугольного и таврового профилей с одиночной и двойной арматурой. Методические указания содержат исходные данные по вариантам и рекомендации по расчету железобетонных элементов на прочность по нормальным сечениям и наклонным сечениям.

Методические указания предназначены для использования в учебном процессе для подготовки бакалавров.

Табл. 5, рис. 4, библиогр. 4 наимен.

Рецензент: Начальник отдела АСО ООО «Акведук» **В.В. Станкевич**

УДК 624.21.09

ББК 38я

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2015 г.

© Иванов Г.П., Петропавловских О.К. 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Занятие №1. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по нормальным сечениям с одиночной арматурой	4
Занятие №2. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по нормальным сечениям с двойной арматурой.	10
Занятие № 3. Расчет элементов таврового профиля на прочность по нормальным сечениям.	16
Занятие №4. Определение остаточной несущей способности нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов	22
Занятие № 5. Расчет железобетонных элементов по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента.	26
Литература	30
Приложение 1 Расчетные сопротивления бетона	31
Приложение 2 Нормативные и расчетные сопротивления арматуры	32
Приложение 3 Модуль упругости бетона	33

**Занятие №1. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по нормальным сечениям с одиночной арматурой**

**Цель расчета** – определить минимальный расход продольной арматуры каркасов (для балок) или арматуры сеток в нижней растянутой зоне сечения элементов.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний:**

1. Какие элементы относятся к классу изгибаемых?

а) Изгибаемыми называются элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешних нагрузок возникает изгибающий момент в середине их пролета.

б) Изгибаемыми называются элементы, в которых в поперечных сечениях при действии внешних нагрузок возникают изгибающие моменты и поперечные силы.

в) Изгибаемыми называются элементы, в которых возникают изгибающие моменты при действии равномерно распределенных нагрузок и сосредоточенных сил.

2. Расчетная схема усилий в нормальном сечении изгибаемого элемента с одиночной арматурой?

3. Какие характеристики бетона и арматуры учитываются при расчете изгибаемых элементов с одиночной арматурой на прочность по нормальным сечениям?

4. Как назначается величина защитного слоя бетона для растянутой арматуры?

5. Установите критерий одиночного армирования изгибаемого элемента?

а)  $\xi < 0$ ,

б)  $\xi < \xi_R$ ,

в)  $h_0 < 180$  мм.

5. Расчетная формула положения границы сжатой зоны в нормальном сечении изгибаемого элемента?

6. Условие прочности нормального сечения изгибаемого элемента с одиночной арматурой?

7. Из каких условий назначается класс бетона по прочности на сжатие для изгибаемого элемента с одиночной арматурой?

а) Из условия минимального продольного армирования;

б) Из условия обеспечения минимальной высоты изгибаемого элемента;

в) Из условий эксплуатации изгибаемого элемента по обеспечению требуемых марок по морозостойкости и водостойкости.

Изгибаемыми называются элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешней нагрузки возникают изгибающие моменты и поперечные силы в зависимости от расчетной схемы приложения нагрузки и граничных условий закрепления элемента. На рис. 1 приведен пример расчетной схемы изгибаемого однопролетного элемента, загруженного равномерно распределенной нагрузкой с двумя возможными схемами разрушения по нормальному и наклонному сечениям.

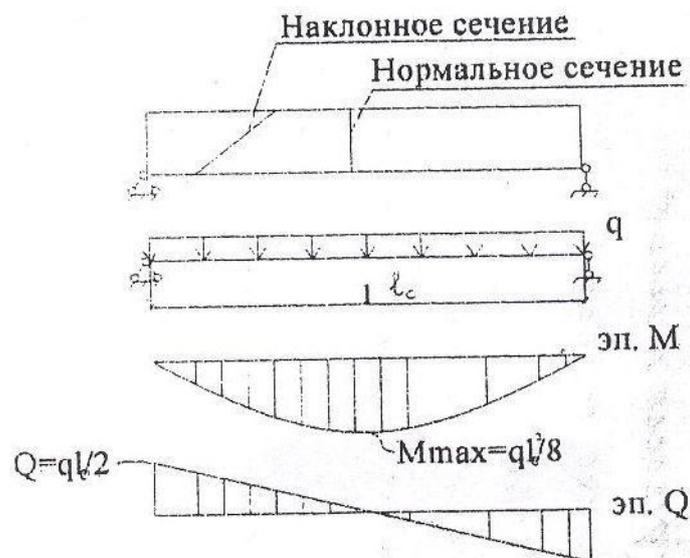


Рис. 1. Расчетная схема изгибаемого элемента

Расчетная схема внутренних усилий и эпюра напряжений в прямоугольном поперечном сечении изгибаемого железобетонного элемента с одиночной арматурой приведена на рис. 2.

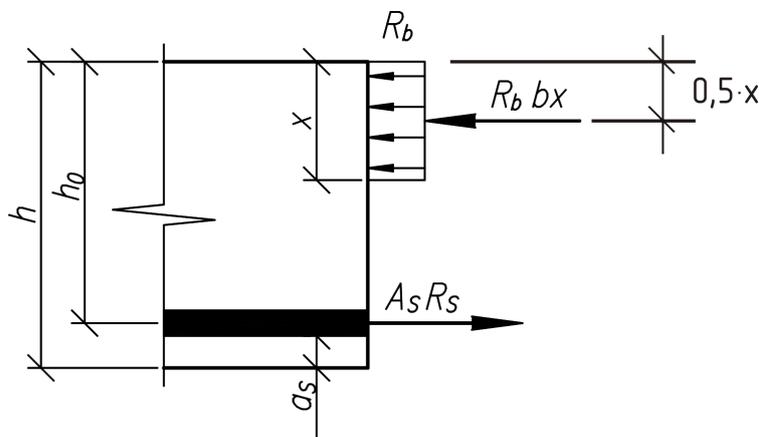


Рис. 2. Схема внутренних усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении изгибаемого железобетонного элемента с одиночной арматурой

Ниже приведены основные расчетные формулы и порядок расчета прочности нормального сечения железобетонного элемента с одиночной арматурой.

Условие прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента записывается в виде:

$$M < R_b \cdot A_s (h_0 - 0.5 \cdot x), \quad (1)$$

где:  $R_b$  – расчетное сопротивление арматуры на растяжение, принимаемое согласно табл. 31 / Н/см<sup>2</sup> / 1 /;

$A_s$  – минимальный расход продольной растянутой арматуры в / см<sup>2</sup> /;

$h_0$  – рабочая высота сечения изгибаемого элемента в / см /;

$$h_0 = h - a_s, \quad (2)$$

где:  $h$  – высота сечения элемента (балки, плиты) в / см /;

$a_s$  – расстояние от нижней растянутой зоны сечения элемента до центра тяжести растянутой арматуры в / см /:

- при расположении арматуры в один ряд:  $a_s = a + 0.5 \cdot d_s$ , где  $d_s$  – диаметр искомой арматуры и «а» - защитный слой бетона: не менее 30 мм и не менее диаметра арматуры « $d_s$ »;

- при расположении арматуры вплотную в два ряда (без зазора):

$$a_s = a + d_s;$$

$x$  – абсолютная высота сжатой зоны сечения изгибаемого элемента:

$$x = R_s \cdot A_s / R_b \cdot b, \quad (3)$$

где:  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона изгибаемого элемента на сжатие согласно табл. 23 в МПа или Н/см<sup>2</sup> в зависимости от размерности  $R_s$  / 2 /.

Последовательность практического расчета прочности нормального сечения изгибаемого элемента с одиночной арматурой.

**Дано:  $M, b, h, R_s, R_b$ .**

Необходимо определить минимальный расход продольной растянутой арматуры в изгибаемом элементе (балке или в плите).

1. Определяется значение рабочей высоты сечения элемента с учетом защитного слоя бетона:

$$h_0 = h - a_s; \quad (4)$$

2. Определяется минимальный расход продольной растянутой арматуры:

$$A_s = \frac{R_b \times b}{R_s} \left( h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2M}{R_b \times b}} \right); \quad (5)$$

3. Конструирование изгибаемого элемента (балки или плиты) возможно в дальнейшем по двум направлениям:

а) задаваясь количеством стержней по сортаменту определяют диаметр арматуры;

б) задаваясь диаметром арматуры по сортаменту определяют количество стержней арматуры.

Таким образом устанавливают фактический расход арматуры  $A_s^*$ , который должен быть не менее расчетного значения  $A_s$ .

4. Определяются абсолютное и относительное значения сжатой зоны сечения элемента:

$$x = R_s^* A_s^* / R_b^* b, \quad \xi = x/h_0. \quad (6)$$

5. Определяется граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона сечения элемента  $\xi_R$ :

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma_2} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)}; \quad (7)$$

$\omega = 0.85 - 0.008 R_b$ , (для тяжелых бетонов);

6. Выполнить сравнение:  $\xi \leq \xi_R$ : (8)

а) если условие (8) выполняется определить несущую способность элемента  $M^*$ , которая должна быть больше изгибающего момента от действия внешней нагрузки  $M$ :

$$M^* = R_s^* A_s^* (h_0 - 0.5x); \quad (9)$$

Условие прочности выполняется.

б) если условие (8) не выполняется, то необходимо изменить исходные данные по назначению класса бетона по прочности на сжатие и (или) увеличить высоту сечения элемента (балки или плиты) и повторить расчеты до выполнения условия (8).

**Пример расчета №1.** Определить минимальный расход продольной растянутой арматуры изгибаемого элемента при следующих исходных данных:

**Дано:** Балка прямоугольного сечения с размерами 25x50 см (bхh) запроектирована из тяжелого бетона класса В25,  $R_b = 13$  МПа. Продольная арматура класса А400,  $R_s = 350$  МПа. Величина

изгибающего момента  $M = 245$  кН\*м. Вычертить эскиз армирования балки.

1. Определяем рабочую высоту сечения балки при условии, что арматура располагается в один ряд и максимально доступный диаметр арматуры 30мм:

$$h_0 = 50 - 3 - 1.5 = 45.5 \text{ см.}$$

2. Определяем минимальный расход растянутой арматуры:

$$A_s^{\min} = \frac{13 \times 25}{350} \left( 45.5 - \sqrt{2070 \cdot 25 - \frac{2 \times 245000}{13 \times 25}} \right) = 20.22 \text{ см}^2$$

3. Согласно сортамента арматуры принимаем армирование балки :

$A_s^* = 12.32 + 9.82 = 22.14 \text{ см}^2$  ( 2Ø28 + 2Ø25 ) с процентом армирования:  $2214/25 \times 45.5 = 1.95$  %, что меньше 3%.

4. Определяем параметры сжатой зоны сечения балки:

$$x = 350 \times 22.14 / 13 \times 25 = 23.84 \text{ см}; \xi = 23.84 / 45.5 = 0.524.$$

5. Граничное значение относительной высоты сжатой  $\xi_R$  :

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma_2} \left( 1 - \frac{\omega}{1.1} \right)} = \frac{0.746}{1 + \frac{350}{500} \left( 1 - \frac{0.746}{1.1} \right)} = 0.609$$

$$\omega = 0.85 - 0.008 R_b = 0.85 - 0.008 \times 13 = 0.746 ; R_s = 350 \text{ МПа} ; \sigma_2 = 500 \text{ МПа}$$

Условие ( 8 ) выполняется.

6. Несущая способность балки:

$$M^* = 350 \times 22.14 ( 45.5 - 11.92 ) = 260.2 \text{ кН*м, что больше } M = 245 \text{ кН*м.}$$

Условие прочности выполняется.

Таблица 1

Варианты заданий

№№	B, мм	h, мм	Класс бетона	Класс арматуры	Изг.момент кН*м
1	250	500	B25	A300	212.5
2	300	650	B30	A400	230.7
3	200	500	B20	A300	125.6
4	250	600	B25	A400	235.9

5	250	450	B20	A300	118.3
6	200	450	B20	A400	54.2
7	250	500	B25	A300	126.6
8	300	600	B25	A400	263.7
9	200	550	B30	A300	232.5
10	300	550	B30	A300	265.7
11	300	650	B25	A300	308.5
12	250	550	B30	A400	178.2
13	300	650	B25	A300	301.5
14	250	500	B30	A400	199.5
15	200	450	B20	A300	61.5
16	250	600	B25	A400	232.7
17	250	550	B30	A300	108.6
18	1000	190	B25	A300	23.8
19	1000	180	B20	A400	21.5
20	200	450	B30	A300	65.5
21	300	650	B25	A400	301.3
22	1000	190	B25	A300	29.9
23	1000	200	B20	A400	34.3
24	250	500	B30	A300	145.8
25	300	650	B30	A400	350.6
26	250	600	B25	A300	232.3
27	1000	190	B30	A300	31.4
28	300	600	B25	A400	280.1
29	200	450	B25	A300	60.4
30	250	550	B25	A400	105.3

**Занятие №2. Расчет элементов прямоугольного профиля на прочность по нормальным сечениям с двойной арматурой.**

**Цель расчета** – определить минимальный расход продольной арматуры каркасов (для балок) или арматуры сеток в нижней растянутой и в верхней сжатой зонах сечения элементов. Такие расчетные случаи возникают в практике проектирования когда не достаточно прочность бетона сжатой зоны и (или) не достаточно высота изгибаемого элемента.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний:**

1. С какой целью применяется двойное армирование?

- а) С целью экономии бетона;
- б) С целью уменьшения высоты сечения элемента;
- в) С целью увеличения несущей способности сжатой зоны сечения элемента.

2. Расчетная схема усилий в нормальном сечении изгибаемого элемента с двойной арматурой?

3. Какие характеристики бетона и арматуры учитываются при расчете изгибаемых элементов с двойной арматурой на прочность по нормальным сечениям?

4. Как назначается величина защитного слоя бетона для сжатой арматуры?

5. Установите критерий двойного армирования изгибаемого элемента?

а)  $\xi < 0$ ,

б)  $\xi \leq \xi_R$ ,

в)  $\xi > \xi_R$ ,

5. Расчетная формула положения границы сжатой зоны в нормальном сечении изгибаемого элемента?

6. Условие прочности нормального сечения изгибаемого элемента с двойной арматурой?

7. Из каких условий назначается класс бетона по прочности на сжатие для изгибаемого элемента с двойной арматурой?

а) Из условия минимального продольного армирования;

б) Из условия обеспечения минимальной высоты изгибаемого элемента;

в) Из условий эксплуатации изгибаемого элемента по обеспечению требуемых марок по морозостойкости и водостойкости.

Ниже приведены основные расчетные формулы и порядок расчета прочности нормального сечения железобетонного элемента с двойной арматурой.

Условие прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента записывается в виде:

$$M < R_b * b * x (h_0 - 0.5 * x) + R_{sc} * A_s' (h_0 - a_s'), \quad (10)$$

где:  $R_{sc}$  – расчетное сопротивление арматуры на сжатие, принимаемое согласно табл. 31 / Н/см<sup>2</sup> / 1 /;

где:  $A_s'$  – минимальный расход продольной сжатой арматуры / см<sup>2</sup> /;

$a_s'$  – расстояние от верхней сжатой грани сечения элемента до равнодействующей усилия в сжатой арматуре / см /:

при расположении арматуры в один ряд:  $a_s' = a + 0.5 * d_{sc}$ , где  $d_{sc}$  – диаметр искомой сжатой арматуры и «а» - защитный слой бетона не менее 30 мм и не менее диаметра арматуры « $d_{sc}$ »;

$x$  – абсолютная высота сжатой зоны сечения изгибаемого элемента:

$$x = R_s * A_s / (R_b * b + R_{sc} * A_s'), \quad (11)$$

где:  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона элемента на сжатие согласно табл. 23 / 2 / в МПа или Н/см<sup>2</sup> в зависимости от размерности  $R_s$ .

Последовательность практического расчета прочности нормального сечения изгибаемого элемента с двойной арматурой.

**Дано:  $M, b, h, R_s, R_{sc}, R_b$ .**

Необходимо определить минимальный расход продольной сжатой и растянутой арматуры в изгибаемом элементе (балке или в плите).

1. По формуле (4) определяется значение рабочей высоты сечения элемента.

2. По формуле (5) определяется минимальный расход продольной растянутой арматуры.

3. С учетом конструирования по сортаменту определяется фактический расход растянутой арматуры  $A_s^*$ , который должен быть не менее расчетного значения  $A_s$ .

4. По формулам (6) определяются абсолютное и относительное значения сжатой зоны сечения элемента.

5. По формуле (7) определяется граничное значение относительной высоты сжатой зоны сечения элемента.

6. По теме занятия условие (8) должно быть:  $\xi > \xi_R$ .

7. Принимаем  $\xi = \xi_R$ .

8. Определяем граничное значение абсолютной высоты сжатой зоны бетона:  $X_R = \xi_R * h_0$ . (12)

9. Определяется расчетное значение расхода сжатой арматуры  $A_{sc}'$ :

$$A_{sc} = \frac{M - R_b \times b * x(h - 0.5x)}{R_{sc}(h - a)}; \quad (13)$$

10. С учетом конструирования по сортаменту определяется фактический расход сжатой арматуры  $A_{sc}^*$ .

11. Определяется минимальный расход продольной растянутой арматуры  $A_s^{\min}$ :

$$A_s = A_{sc}^* + \xi_R \times R_b \times b \times h_0 / R_s \quad (14)$$

12. С учетом конструирования по сортаменту определяется фактический расход растянутой арматуры  $A_s^*$ .

**Пример расчета №2.** Определить расход продольной сжатой и растянутой арматуры изгибаемого элемента при следующих исходных данных:

**Дано:** Балка прямоугольного сечения с размерами 25x45 см (bхh) запроектирована из тяжелого бетона класса В20,  $R_b = 10.5$  МПа. Продольная арматура класса А400,  $R_s = 350$  МПа. Величина изгибающего момента  $M = 245$  кН\*м. Выполнить чертеж армирования элемента.

1. Определяем рабочую высоту сечения балки при условии, что арматура располагается в один ряд и максимально доступный диаметр арматуры 30мм:

$$h_0 = 50 - 3 - 1.5 = 45.5 \text{ см.}$$

2. Определяем минимальный расход растянутой арматуры:

$$A_s^{\min} = \frac{10.5 \times 25}{350} (45.5 - \sqrt{2070 \cdot 25 - \frac{2 \times 245000}{10.5 \times 25}}) = 23.42 \text{ см}^2$$

3. Согласно сортамента арматуры принимаем армирование балки :

$$A_s^* = 24.63 \text{ см}^2 (4\text{Ø}28) \text{ с процентом армирования: } 2463/25 \times 45.5 = 2.17$$

%, что меньше 3%.

4. Определяем параметры сжатой зоны сечения балки:

$$x = 350 \times 24.63 / 10.5 \times 25 = 32.84 \text{ см}; \xi = 32.84 / 45.5 = 0.722.$$

5. Граничное значение относительной высоты сжатой  $\xi_R$  :

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} = \frac{0.766}{1 + \frac{350}{500} \left(1 - \frac{0.766}{1.1}\right)} = 0.631$$

$$\omega = 0.85 - 0.008 R_b = 0.85 - 0.008 \times 10.5 = 0.766 ; R_s = 350 \text{ МПа} ; \sigma = 500 \text{ МПа}$$

Условие (8) не выполняется. Необходимо увеличить несущую способность сжатой зоны сечения балки путем установки продольной арматуры.

6. По формуле (8) определяем граничное значение абсолютной высоты сжатой зоны бетона балки:  $x_R = 0.631 \times 45.5 = 28.71 \text{ см}$ .

7. По формуле (13) определяем расчетный расход сжатой арматуры:

$$A_{sc} = \frac{245000 - 10.5 \times 25 \times 28.71 (45.5 - 14.355)}{350 (45.5 - 5)} = 0.725 \text{ см}^2 ;$$

8. Принимаем конструктивно по сортаменту:  $2\text{Ø}10$  с  $A_{sc}^* = 1.57 \text{ см}^2$ .

9. По формуле (14) определяем расчетный расход растянутой арматуры:

$$A_s = 1.57 + 0.631 \times 10.5 \times 25 \times 45.5 / 350 = 23.1 \text{ см}^2.$$

10. Согласно сортамента арматуры принимаем армирование балки :

$$A_s^* = 24.63 \text{ см}^2 (4\text{Ø}28) \text{ с процентом армирования: } 2463/25 \times 45.5 = 2.17$$

%, что меньше 3%.

11. По формуле (10) определяем несущую способность балки при двойном армировании:

$$M^* = 10.5 \times 25 \times 28.71 (45.5 - 0.5 \times 28.71) + 350 \times 1.57 (45.5 - 5) = 256.98 \text{ кН*м},$$

что больше изгибающего момента от действия внешней нагрузки  $M = 245$  кН\*м. Условие прочности выполняется.

Таблица 2

Варианты заданий

№№	В, мм	h, мм	Класс бетона, В	Класс арматуры	Изг.момент кН*м
1	250	450	B20	A300	212.5
2	300	600	B25	A400	230.7
3	200	450	B15	A300	125.6
4	250	550	B20	A400	235.9
5	250	400	B15	A300	118.3
6	200	400	B15	A400	54.2
7	250	450	B20	A300	126.6
8	300	550	B20	A400	263.7
9	200	500	B25	A300	232.5
10	300	500	B25	A300	265.7
11	300	600	B20	A300	308.5
12	250	500	B25	A400	178.2
13	300	600	B20	A300	301.5
14	250	450	B25	A400	199.5
15	200	400	B15	A300	61.5
16	250	550	B20	A400	232.7
17	250	500	B25	A300	108.6
18	1000	180	B20	A300	23.8
19	1000	180	B15	A400	21.5
20	200	400	B25	A300	65.5
21	300	600	B20	A400	301.3
22	1000	180	B20	A300	29.9
23	1000	180	B15	A400	34.3
24	250	450	B25	A300	145.8
25	300	600	B25	A400	350.6
26	250	550	B20	A300	232.3
27	1000	180	B25	A300	31.4
28	300	550	B20	A400	280.1
29	200	400	B20	A300	60.4
30	250	500	B20	A400	105.3

### **Занятия № 3, 4 Расчет элементов таврового профиля на прочность по нормальным сечениям.**

**Цель расчета** – определить необходимую площадь сечения продольной сжатой и растянутой арматуры в железобетонной балке таврового профиля; проверить прочность сечения.

#### **Контрольные вопросы для самопроверки знаний:**

1. Какие элементы относятся к классу изгибаемых?

а) Изгибаемыми называются элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешних нагрузок возникает изгибающий момент в середине их пролета.

б) Изгибаемыми называются элементы, в которых в поперечных сечениях при действии внешних нагрузок возникают изгибающие моменты и поперечные силы.

в) Изгибаемыми называются элементы, в которых возникают изгибающие моменты при действии равномерно распределенных нагрузок и сосредоточенных сил.

2. Расчетная схема усилий в нормальном сечении изгибаемого элемента с одиночной арматурой?

3. Какие характеристики бетона и арматуры учитываются при расчете изгибаемых элементов на прочность по нормальным сечениям?

4. Как назначается величина защитного слоя бетона для растянутой арматуры?

5. Укажите критерий возможности одиночного расчетного армирования изгибаемого элемента таврового профиля?

а)  $\xi < 0$ ,

б)  $\xi \leq \xi_R$ ,

в)  $\xi > \xi_R$ ,

б)  $\xi < 0.5$ ,

в)  $h_0 < 350$  мм.

6. Расчетная формула положения границы сжатой зоны в нормальном сечении изгибаемого элемента?

7. Условие прочности нормального сечения изгибаемого элемента таврового профиля с одиночной арматурой?

8. Какие расчетные случаи возможны в изгибаемом элементе таврового профиля?

Изгибаемыми называются элементы, в которых в поперечном сечении при действии внешней нагрузки возникают изгибающие моменты и поперечные силы в зависимости от расчетной схемы приложения нагрузки и граничных условий закрепления элемента. Пример расчетной схемы изгибаемого однопролетного элемента, загруженного равномерно распределенной нагрузкой приведен на рис. 1.

Расчетная схема внутренних усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении изгибаемого железобетонного элемента таврового профиля с одиночной арматурой приведена на рис. 3.

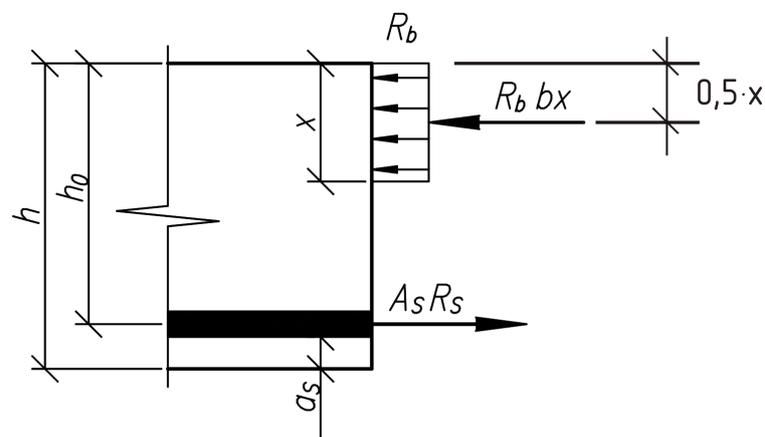


Рис. 3. Схема внутренних усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении изгибаемого железобетонного элемента таврового профиля (с одиночной арматурой) с полкой в сжатой зоне

Ниже приведены основные расчетные формулы и порядок расчета прочности нормального сечения железобетонного элемента таврового профиля с одиночной арматурой.

Условие прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента таврового профиля с одиночной арматурой записывается в виде:

$$M < R_s * A_s (h_0 - 0.5 * x), \quad (15)$$

где:  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры на растяжение, принимаемое согласно табл. 31 / Н/см<sup>2</sup> / 1 /;

$A_s$  – минимальный расход продольной растянутой арматуры в / см<sup>2</sup> /;

$h_0$  – рабочая высота сечения изгибаемого элемента согласно (2) в / см /:

$$h_0 = h - a_s; \quad (16)$$

$a_s$  – расстояние от нижней растянутой зоны сечения элемента до центра тяжести растянутой арматуры в / см /:

- при расположении арматуры в один ряд:  $a_s = a + 0.5 * d_s$ , где  $d_s$  – диаметр искомой арматуры и «а» – защитный слой бетона не менее 30 мм и не менее диаметра арматуры « $d_s$ »;

- при расположении арматуры вплотную в два ряда (без зазора):

$$a_s = a + d_s;$$

$x$  – абсолютная высота сжатой зоны сечения изгибаемого элемента:

$$x = R_s * A_s / R_b * b_f', \quad (17)$$

где:  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона изгибаемого элемента на сжатие согласно табл. 23 в МПа или Н/см<sup>2</sup> в зависимости от размерности  $R_s$  / 2 /;

$b_f'$  – расчетное значение ширины сжатой полки:

$$b_f' = b + 2c, \quad (18)$$

$b$  – ширина ребра;

$c$  – расчетное значение свесов в элементах таврового профиля, принимаемое из следующих условий в зависимости от высоты элемента ( $h$ ) и высоты сжатой полки приведенного сечения ( $h_f'$ ):

-  $c = 3h_f'$  – при  $h_f'/h < 0.1$ ,

-  $c = 6h_f'$  – при  $h_f'/h > 0.1$ , (19)

-  $c = 0$  - при  $h_f'/h < 0.05$ .

Последовательность практического расчета прочности нормального сечения изгибаемого элемента с одиночной арматурой.

**Дано:**  $M, b, h, h_f', R_s, R_b$ .

Необходимо определить минимальный расход продольной растянутой арматуры в изгибаемом элементе (балке или в плите).

1. Согласно (16) определяется значение рабочей высоты ( $h_0$ ) сечения элемента с учетом защитного слоя бетона.

2. Согласно (18) определяется расчетное значение ширины сжатой полки ( $b_f'$ ) приведенного сечения.

3. Определяется несущая способность элемента при  $x = h_f'$ :

$$M_{(x=h_f')} = R_b * b_f' * h_f' (h_0 - 0.5h_f'). \quad (20)$$

4. Выполнить сравнение  $M$  и  $M_{(x=h_f')}$ :

- если  $M < M_{(x=h_f')}$ , то нейтральная ось находится в пределах сжатой полки  $h_f'$  и расчет прочности нормального сечения производится по формулам как для элемента прямоугольного профиля при  $b = b_f'$ ;

- если  $M > M_{(x=h_f')}$ , то нейтральная ось находится ниже полки в пределах ребра и расчет прочности нормального сечения производится по формуле:

$$M < M_1 + M_2, \quad (21)$$

где:  $M_1$  – момент воспринимаемый свесами таврового сечения;

$M_2$  – момент воспринимаемый ребром таврового сечения.

5. Определяется минимальный расход продольной растянутой арматуры:

$$A_s = \frac{R_b * b}{R_s} (h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2M}{R_b * b}}); \quad (22)$$

где:  $b = b_f'$ .

Далее производится конструирование с учетом сортамента арматуры и количества стержней в растянутой зоне сечения.

### Пример расчета №3.

Определить расход продольной растянутой арматуры изгибаемого элемента таврового сечения при следующих исходных данных:

**Дано: Балка таврового профиля с размерами поперечного сечения: ребра - 20x115 см (b<sub>x</sub>h), сжатой полки – 20x160 см запроектирована из тяжелого бетона класса В20, R<sub>b</sub> = 10.5 МПа. Продольная арматура класса А400, R<sub>s</sub> = 350 МПа. Величина изгибающего момента M = 545 кН\*м. Выполнить чертеж армирования элемента.**

1. Определяем рабочую высоту сечения балки при условии, что арматура располагается в один ряд и максимально доступный диаметр арматуры 30мм:

$$h_0 = 115 - 3 - 1.5 = 110.5 \text{ см.}$$

2. Определяется расчетное значение ширины сжатой полки (18):

$b_f' = 20 + 2 \times 6 \times 20 = 260 \text{ см}$ , что больше 160 см. Принимаем конструктивно  $b_f' = 160 \text{ см}$ .

3. Согласно (20) определяется несущая способность элемента при  $x = h_f'$ :

$M_{(x=h_f')} = 10.5(100) * 160 * 20 (110.5 - 10) = 3376.8 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , что больше значения изгибающего момента от действия внешней нагрузки – 545 кН\*м. Следовательно нейтральная ось находится в пределах полки:  $x < h_f'$ .

4. Согласно (22) определяем минимальный расход растянутой арматуры:

$$A_s^{\min} = \frac{10.5 \times 160}{350} \left( 109 - \sqrt{11881 - \frac{2 \times 545000}{10.5 \times 160}} \right) = 14.49 \text{ см}^2$$

5. Согласно сортамента арматуры принимаем армирование балки :

$A_s^* = 15.20 \text{ см}^2$  ( 4Ø22 ) с процентом армирования:  $1520/20 \times 109 = 0.7 \%$ , что меньше 3%.

6. Определяем параметры сжатой зоны сечения балки:

$$x = 350 \times 15.20 / 10.5 \times 160 = 3.17 \text{ см}; \xi = 3.17 / 109 = 0.029.$$

7. Граничное значение относительной высоты сжатой зоны  $\xi_R$ :

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} = \frac{0.766}{1 + \frac{350}{500} \left(1 - \frac{0.766}{1.1}\right)} = 0.631$$

$$\omega = 0.85 - 0.008 R_b = 0.85 - 0.008 \times 10.5 = 0.766; R_s = 350 \text{ МПа}; \sigma = 500 \text{ МПа}$$

Условие ( 8 ) выполняется.

Таблица 3

Варианты заданий

№№	b, мм	h, мм	b <sub>f</sub> , мм	h <sub>f</sub> , мм	Класс бетона	Класс арматуры	Изг.момент кН*м
1	250	600	450	60	B20	A300	128.5
2	200	500	500	70	B25	A400	130.7
3	300	700	1000	120	B30	A300	225.9
4	250	550	1100	75	B20	A400	235.9
5	250	600	900	65	B15	A300	118.3
6	200	800	1000	100	B15	A400	300
7	250	750	950	90	B20	A300	226.6
8	160	850	900	60	B20	A400	163.7
9	200	500	800	70	B25	A300	121,4
10	160	500	1100	60	B25	A300	96,5
11	200	600	1000	80	B20	A300	150,7
12	250	600	600	60	B25	A400	178.2
13	180	600	700	60	B20	A300	192,0
14	200	500	500	50	B25	A400	147,5
15	200	500	600	70	B15	A300	95,4
16	250	550	500	80	B20	A400	175,6
17	250	600	550	60	B25	A300	151,2
18	160	700	750	70	B20	A300	200,1
19	180	600	800	80	B25	A400	250,2
20	200	500	600	60	B25	A300	181,4
21	170	600	700	70	B20	A400	175,5
22	190	800	800	60	B20	A300	216,6
23	180	700	900	60	B25	A400	266,5
24	200	650	1000	70	B25	A300	284,4
25	190	600	900	65	B25	A400	244,5
26	200	550	600	50	B20	A300	191,6
27	170	700	800	80	B25	A300	265,4
28	180	800	900	70	B20	A400	315,6

29	200	500	450	50	B20	A300	91,4
30	190	600	450	60	B20	A400	157,8

**Пример расчета №4. Определение остаточной несущей способности нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов**

**Цель расчета** – определить снижение несущей способности железобетонного изгибаемого элемента в процессе его эксплуатации с учетом дефектности материалов бетона и арматуры.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний:**

1. От чего зависит несущая способность изгибаемого элемента?
  - а) от нагрузок, действующих на конструкцию;
  - б) от значения изгибающего момента;
  - в) от геометрических размеров поперечного сечения элемента;
  - г) от проектной прочности бетона и диаметра арматуры изгибаемого элемента;
  - д) от фактической прочности бетона и расхода арматуры;
  - е) от расхода продольной сжатой и растянутой арматуры.
2. Как влияет наличие и расход продольной сжатой арматуры на несущую способность изгибаемого элемента?
  - а) влияет от диаметра арматуры и количества стержней;
  - б) не влияет вообще;
  - в) зависит от величины защитного слоя бетона;
  - г) влияет незначительно.
3. Какие характеристики бетона и арматуры учитываются при расчете изгибаемых элементов на прочность по нормальным сечениям в процессе эксплуатации?
  - а) нормативные характеристики согласно действующих норм /СНиП/;
  - б) расчетные характеристики согласно СНиП на год проектирования;

в) фактические характеристики по результатам неразрушающих методов контроля;

г) фактические характеристики по результатам разрушающих методов лабораторного контроля.

4. От чего зависит несущая способность монолитной железобетонной плиты сплошного сечения?

а) от ширины плиты;

б) от толщины плиты;

в) от ширины и толщины плиты;

г) от прочности бетона;

д) от: а,в,г;

е) от: б,г;

ж) от: в,г.

5. Укажите критерий прочности нормального сечения при эксплуатации изгибаемых железобетонных элементов и конструкций?

Ниже приведены основные расчетные формулы и порядок расчета остаточной несущей способности нормального сечения железобетонного элемента таврового профиля с одиночной арматурой.

Условие прочности нормального сечения изгибаемого железобетонных конструкций в процессе их эксплуатации записывается в виде:

$$M < M_{\text{сеч}} , \quad ( 23 )$$

где:  $M$  – изгибающий момент от фактических нагрузок при эксплуатации;

$M_{\text{сеч}}$  – изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением изгибаемого элемента на этапе его эксплуатации при фактических параметрах сечения, прочности бетона и армирования или «остаточная несущая способность элемента» согласно (24) :

$$M_{\text{сеч}} = R_s \times A_s^* (h_0 - 0.5 \cdot x) , \quad ( 24 )$$

где:  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры на растяжение, принимаемое согласно табл. 31 / Н/см<sup>2</sup> / 1 /;

$A_s^*$  – фактический расход продольной растянутой арматуры с учетом ее коррозии по результатам обследования в / см<sup>2</sup> /;

$h_0$  – фактическая рабочая высота сечения изгибаемого элемента в / см /:

$$h_0 = h^* - a_s, \quad (25)$$

где:  $h^*$  – фактическая высота сечения элемента (балки, плиты) по результатам обследования в / см /;

$a_s$  – фактическое расстояние от нижней растянутой зоны сечения элемента до центра тяжести фактической растянутой арматуры в / см /:

- при расположении арматуры в один ряд:  $a_s = a + 0.5 \cdot d_s$ , где  $d_s$  – фактический диаметр арматуры и «а» – фактический защитный слой бетона (среднее и максимальное значения по результатам обследования);

- при расположении арматуры вплотную в два ряда (без зазора):

$$a_s = a + d_s;$$

$x$  – фактическая абсолютная высота сжатой зоны сечения изгибаемого элемента:

$$x = R_s \cdot A_s^* / R_b^* \cdot b, \quad (26)$$

где:  $R_b^*$  – расчетное сопротивление бетона на сжатие изгибаемого элемента в МПа или Н/см<sup>2</sup> в зависимости от размерности  $R_s$ .

Последовательность практического расчета остаточной несущей способности нормального сечения изгибаемого элемента с одиночной арматурой.

**Пример расчета №4. Дано:  $M$ ,  $b^*$ ,  $h^*$ ,  $a_s^*$ ,  $A_s^*$ ,  $A$ ,  $B$ : 27.5 кН•м, 95 см, 18.4 см, 4.6 см, 5Ø 12 с  $\dot{A}_s = 5,65 \text{ см}^2$ , А400, 20 МПа.**

Необходимо определить остаточную (фактическую) несущую способность железобетонного изгибаемого элемента (балки или плиты) при известных исходных данных по размерам поперечного сечения,

прочности бетона и армированию с учетом фактической прочности бетона, привязки арматурных стержней и их диаметров с учетом коррозии арматуры.

1. Согласно (25) определяется значение рабочей высоты сечения элемента с учетом защитного слоя бетона:  $h_0 = 18.4 - 4.6 = 13.8$  см.

2. Согласно (26) определяется абсолютная высота сжатой зоны сечения плиты:  $x = 350 * 5.65 / 10.5 * 95 = 1.98$  см.

3. Определяется остаточная несущая способность плиты по прочности нормального сечения (24):

$$M_{\text{сеч.}} = 350 * 5.65 (13.8 - 0.5 * 1.98) = 25.33 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

что меньше значения изгибающего момента при фактических нагрузках на момент обследования конструкции плиты –  $M = 27.5$  кН•м.

**Вывод.** Необходимо выполнить усиление железобетонной плиты по прочности нормального сечения.

Таблица 4

Варианты заданий

№№	$b^*$ , мм	$H^*$ , мм	$B^*_f$ , мм	$h_f^*$ , мм	Класс бетона	Класс арматуры $n_s$ , $\emptyset$	Изг.момент кН*м
1	1000	180	-	-	B20	A300 5 Ø10	20,4
2	1000	160	-	-	B25	A400 5 Ø12	25,6
3	1000	170	-	-	B30	A300 5Ø14	30,5
4	950	200	-	-	B20	A400 5Ø16	61,7
5	950	190	-	-	B21,5	A300 5Ø18	55,5
6	950	180	-	-	B22,5	A400 5Ø20	70,2
7	250	450	-	-	B20	A300 2Ø22	82,4
8	300	550	-	-	B20	A400 2Ø25	162,5
9	200	500	-	-	B25	A300 2Ø28	135,6
10	300	500	-	-	B25	A300 2Ø32	231,5
11	300	600	-	60	B20	A300 2Ø20	106,3
12	250	500	-	50	B25	A400 2Ø18	85,4
13	300	550	500	50	B20	A300 3Ø20	120,6
14	250	500	400	60	B25	A400 3Ø22	166,4
15	200	400	400	80	B22,5	A300 2Ø20	61.5
16	250	550	500	60	B20	A400 2Ø25	140,2
17	250	500	450	60	B25	A300 2Ø28	130,5
18	1000	180	-	-	B20	A300 5Ø16	46,2

19	1000	180	-	-	B22,5	A400 5Ø18	61,7
20	200	400	-	-	B25	A300 2Ø20	54,5
21	300	600	-	-	B20	A400 3Ø20	140,6
22	1000	180	-	-	B20	A300 5Ø20	52,7
23	1000	200	-	-	B22,5	A400 5Ø16	60,5
24	250	450	500	60	B25	A300 2Ø25	99,2
25	300	600	450	50	B25	A400 3Ø20	170,5
26	250	550	500	60	B20	A300 2Ø28	165,4
27	1000	180	-	-	B25	A300 5Ø16	40,72
28	300	550	450	50	B20	A400 3Ø18	127,8
29	200	400	-	-	B20	A300 2Ø20	60,4
30	250	500	-	-	B22,5	A400 2Ø25	150,2

**Занятие № 5. Расчет железобетонных элементов по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента.**

**Цель расчета** – обеспечить несущую способность изгибаемого железобетонного элемента по наклонным сечениям.

**Задачи расчета** – подобрать необходимую площадь сечения (диаметр и количество стержней в нормальном сечении) и шаг поперечной арматуры в железобетонном элементе таврового профиля и проверить прочность элемента по наклонным сечениям.

**Контрольные вопросы для проверки знаний.**

1. Укажите расчетное условие, обеспечивающее прочность сжатой полосы между наклонными трещинами:

а)  $Q \leq 0.3 \varphi_{b1} \cdot \varphi_{w1} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$  ;

б)  $Q \leq 0.3 \varphi_{b1} \cdot \varphi_{w1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0$  ;

в)  $Q \geq 0.3 \varphi_{b1} \cdot \varphi_{w1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0$  ;

2. Укажите расчетное условие, обеспечивающее прочность по наклонному сечению без поперечной арматуры:

а)  $Q \leq Q_b$  ;

б)  $Q \leq 0.5 Q_b$  ;

в)  $Q \leq 0.75 Q_b$  ;

3. Условие прочности по наклонным сечениям на действие изгибающего момента?

а)  $M \geq M_s + M_{sw}$ ;

б)  $M \leq M_s + M_{sw}$ ;

в)  $M \leq M_s - M_{sw}$ .

4. Назовите конструктивные требования по установке поперечной арматуры в железобетонных балках?

5. Дайте характеристику параметрам:  $q_{sw}$ ,  $R_{sw}$ ,  $c$ ,  $S$ ,  $Q_b$ ,  $Q_{sw}$ .

6. Покажите эскиз плоского и объемного сварных и вязанных каркасов.

7. Какая арматура может быть использована в качестве поперечной?

а) А240;

б) А240, А300, А400, А500;

в) А240, А300Q;

г) любая.

### **Порядок расчета прочности наклонного сечения.**

Условие прочности наклонного сечения:  $Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{sw,inc}$  (27)

где:  $Q_b$  – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны сечения:

$$Q_b = \frac{2R_{bt}bh_o^2}{c} \leq mR_{bt}bh_o; \quad (28)$$

$m$  – коэффициент условия работы,  $m = 1.30$ ;

$c$  – длина проекции наклонной трещины (не менее  $h_0$  и не более  $2 h_0$ ).

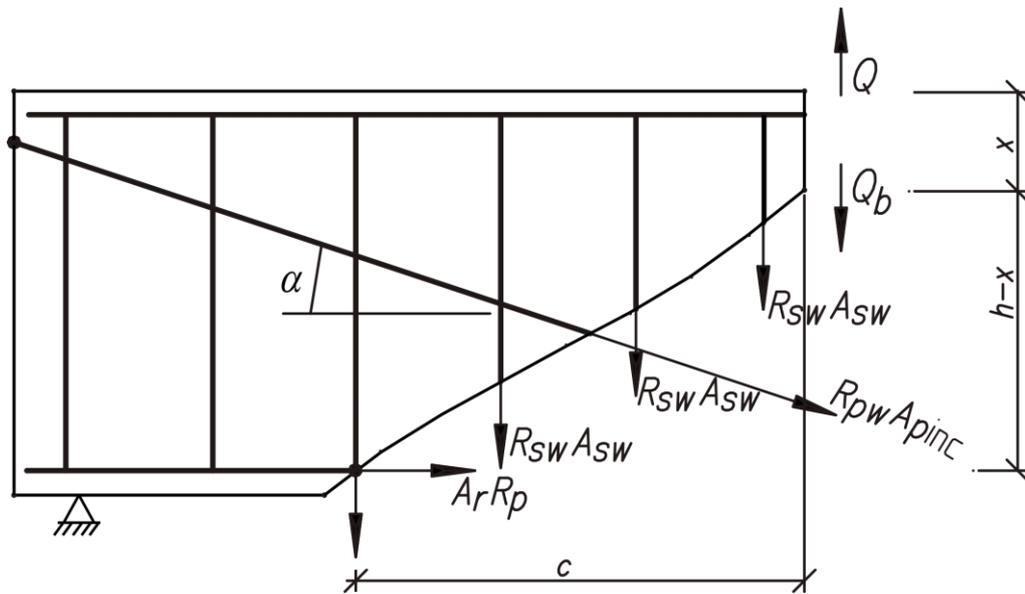


Рис. 4. Расчётная схема.

$$c = \frac{h_0 - x}{\operatorname{tg} 45^\circ}; \quad (29). \quad \text{Минимальное значение } Q_b^{\min} = 0.6 R_{bt} b h_0, \quad (30)$$

$Q_{sw} = m_{04} \sum R_{sw} A_{sw}$  – усилие воспринимаемое хомутами;

$m_{04} = 0.80$  - коэффициент условия работы для стержневой арматуры:

$$Q_{sw} = (R_{sw} A_{sw} / S_w) h_0; \quad (31)$$

$Q_{sw, inc}$  – усилие воспринимаемое отогнутой арматурой;

$$Q_{sw, inc} = m_{04} \sum R_{pw} A_{pi} \sin \alpha. \quad (32)$$

**Прядок расчета прочности сжатой полосы между наклонными трещинами:**

$$Q \leq 0.3 \times \varphi_{\omega 1} \times \varphi_{b 1} \times R_b \times b \times h_0 \quad (33)$$

$Q$  – значение поперечной силы в расчетном сечении;

$$\varphi_{\omega 1} = 1 + 5 \frac{E_s}{E_b} \frac{A_{sw}}{b S_w}; \quad (34)$$

$S_w$  – расстояние между хомутами :  $S_w \leq h_0/3$ ;

$A_{sw}$  – площадь поперечной арматуры в нормальном сечении;

$$\varphi_{b 1} = 1 - 0.01 R_b \quad (35)$$

Последовательность практического расчета прочности наклонного сечения изгибаемого элемента .

**Пример расчета №5. Дано:  $Q$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $B$ ,  $R_s$ ,  $R_b$ ,  $R_{bt}$ ,  $E_s$ ,  $E_b$  : 100 кН , 25см , 50см, В25, 350 МПа, 13 МПа, 0.9 МПа,**

Необходимо определить минимальное поперечное армирование в изгибаемом элементе (балке или в плите):  $n_w$ ,  $d_w$ ,  $S_w$

1. Определяется значение рабочей высоты сечения элемента с учетом защитного слоя бетона:  $h_0 = 50 - 5 = 45\text{см}$  ;

2. Согласно (30) определяется минимальное значение поперечного усилия, воспринимаемого бетоном :  $Q_b^{\min} = 0.6 \times 90 \times 25 \times 45 = 60.75 \text{ кН}$ .

3. Из условий минимальной трудоемкости и стоимости в первом приближении принимаем минимальное конструктивное армирование балки вязанными каркасами (хомутами):  $n_w = 2$  при ширине балки 25см;  $d_w = 6\text{мм}$  – для вязанных каркасов;  $S_w = h_0/3 = 45/3 = 15\text{см}$ .

4. Согласно формул (31 и 32) определяем минимальное значение поперечного усилия, воспринимаемое хомутами при  $A_{sw} = 2 \times 0.283 = 0.57\text{см}^2$  :

$$Q_{sw} = (0.8 \times 350(100) \times 0.57/15) \times 45 = 47.88 \text{ кН}.$$

5. Поперечное усилие, воспринимаемое бетоном и арматурой:

$$Q_b + Q_{sw} = 60.75 + 47.88 = 108.63\text{кН},$$

что больше  $Q = 100 \text{ кН}$ . Условие прочности выполнено при минимальном поперечном армировании.

6. Проверка прочности сжатой полосы между наклонными трещинами.

- согласно (34) определяем коэффициент, учитывающий влияние поперечного армирования на прочность бетона сжатой полосы:

$$\varphi_{\omega 1} = 1 + 5 \frac{196000}{30000} \frac{0.57}{25 \times 15} = 1.05 ;$$

- согласно (35) определяем коэффициент:

$$\varphi_{b1} = 1 - 0.01R_b = 1 - 0.01 \times 13 = 0.87 ;$$

- согласно (33) определяем прочность сжатой полосы:

$Q \leq 0.3 \times \varphi_{\omega 1} \times \varphi_{b1} \times R_b \times b \times h_0 = 0.3 \times 1.05 \times 0.87 \times 1300 \times 25 \times 45 = 400.8 \text{ кН}$ . Условие прочности сжатой полосы выполняется.

Таблица 5

## Варианты заданий

№№	В, мм	h, мм	Класс бетона, В	Класс арматуры	Поп. сила Q, кН
1	250	450	В20	А300	102.0
2	300	600	В25	А400	160.5
3	200	450	В15	А300	85.6
4	250	550	В20	А400	135.8
5	250	400	В15	А300	58.3
6	200	400	В15	А400	54.2
7	250	450	В20	А300	126.6
8	300	550	В20	А400	169.7
9	200	500	В25	А300	132.5
10	300	500	В25	А300	159.7
11	300	600	В20	А300	208.0
12	250	500	В25	А400	148.2
13	300	600	В20	А300	251.5
14	250	450	В25	А400	119.0
15	200	400	В15	А300	61.5
16	250	550	В20	А400	132.4
17	250	500	В25	А300	128.6
18	200	450	В20	А300	73.5
19	250	500	В15	А400	111.8
20	200	400	В25	А300	85.5
21	300	600	В20	А400	201.2
22	200	450	В20	А300	99.9
23	300	600	В25	А400	164.8
24	250	500	В25	А300	145.8
25	300	600	В25	А400	250.0
26	250	550	В20	А300	162.5
27	250	600	В25	А300	231.0
28	300	550	В20	А400	160.6
29	200	400	В20	А300	90.4
30	250	500	В20	А400	135.5

## ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.05.03-84\* Мосты и трубы. Госстрой России, -М. ,: ГУП ЦПП, 1998, 214 с.
2. Саламахин П.М. и др. Мосты и сооружения на дорогах. Ч.1-М., Транспорт, 1991, 344 с.

3. Власов Г.М., Устинов В.П. Расчет железобетонных мостов. М., Транспорт, 1992, 256 с.
4. Петропавловский А.А. и др. Проектирование деревянных и железобетонных мостов, М., Транспорт, 1978, 360 с.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

##### Расчетные сопротивления бетона

Вид сопротивления	Усл. об.	Расчетное сопротивление, МПа (кг/см <sup>2</sup> ) бетонов класса										
		B20	B22,5	B25	B27,5	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
При расчетах по предельным состояниям первой группы												
Сжатие осевое (призменная прочность)	R <sub>b</sub>	10.5 (105)	11.75 (120)	13.0 (135)	14.30 (145)	15.50 (160)	17.50 (180)	20.0 (205)	22.0 (225)	25.0 (255)	27.50 (280)	30.0 (305)
Растяжение осевое	R <sub>bt</sub>	0.85 (8.5)	0.90 (9.0)	0.95 (10.0)	1.05 (10.5)	1.10 (11.0)	1.15 (12.0)	1.25 (13.0)	1.30 (13.5)	1.40 (14.0)	1.45 (14.5)	1.50 (15.5)

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 2

##### Нормативные и расчетные сопротивления арматуры

Класс арматурной стали	Диаметр, мм	Нормативные сопротивления растяжению R <sub>sn</sub> и R <sub>ph</sub> , МПа (кг/см <sup>2</sup> ) при расчетах по предельным состояниям второй группы R <sub>s,ser</sub> R <sub>p,ser</sub>	Расчетные сопротивления растяжению при расчетах по предельным состояниям I группы для автодор. и городских мостов R <sub>s</sub> и R <sub>p</sub> / R <sub>sw</sub> , МПа (кг/см <sup>2</sup> )
1	2	3	4
Ненапрягаемая арматура			
1. Стержневая:	6-40	235 (2400)	210 (2150)/
а) гладкая А-1			
б) периодического профиля А-II, А <sub>c</sub> -II	10-40	295 (3000)	265 (2700)/
А-III	6 и 8	390 (4000)	340 (3450)/
	10-40	390 (4000)	350 (3550)/

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

##### Модуль упругости бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	B20	B22,5	B25	B27,5	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
E <sub>B</sub> × 10 <sup>-3</sup> МПа (кг/см <sup>2</sup> )	27,0 (275)	28,5 (290)	30,0 (306)	31,50 (321)	32,50 (332)	34,50 (352)	36,0 (367)	37,50 (382)	39,0 (398)	39,50 (403)	40,0 (408)

**Примечания:** Значение E<sub>B</sub> следует уменьшить на 10 % для бетона, подвергнутого термовлажностной обработке, а так же для бетона, работающего в условиях попеременного замораживания и оттаивания. Модуль сдвига бетона G<sub>b</sub> следует принимать равным 0,4 E<sub>B</sub>.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

«Проектирование железобетонных конструкций инженерных сооружений из обычного ненапряженного железобетона».

к практическим занятиям по курсу «Инженерные сооружения в транспортном строительстве» для студентов по направлению подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги»  
Часть 1. Расчеты на прочность железобетонных изгибаемых моментов.

Составители: Иванов Г.П., Петропавловских О.К.

Редактор Ханафиева Л.З.

Издательство:

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать

Формат 60x84/16

Заказ №

Печать ризографическая

Усл.–печ.л. 2.43

Тираж 50 экз.

Бумага офсетная №1

Учетн.–изд.л. 2.43

---

Отпечатано в полиграфическом секторе

Издательства КГАСУ

420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1