

Расчет строительных конструкций по предельным состояниям

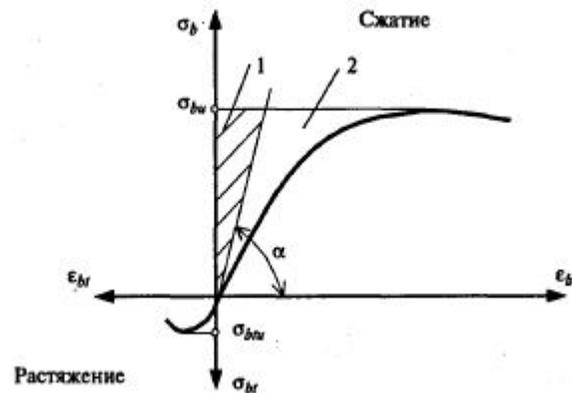


Диаграмма напряжений и деформаций бетона

1 — зона упругих деформаций; 2 — зона пластических деформаций; σ_{bt} — временное сопротивление бетона сжатию; $\sigma_{btл}$ — временное сопротивление бетона растяжению; $tg\alpha = E_b$ — модуль упругости бетона

Коэффициент условий работы бетона γ_{b2}

Факторы, обуславливающие введение коэффициента условий работы бетона	Числовое значение
<p>Длительность действия нагрузки:</p> <p>а) при учете постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, кроме нагрузок непродолжительного действия, суммарная длительность действия которых за период эксплуатации мала (например, крановые нагрузки; нагрузки от транспортных средств; ветровые нагрузки, возникающие при изготовлении, транспортировании и возведении и т.п.), а также при учете особых нагрузок, вызванных деформациями просадочных, набухающих, вечномерзлых и подобных грунтов</p> <p>для тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов естественного твердения и подвергнутых тепловой обработке:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в условиях эксплуатации конструкций, благоприятных для нарастания прочности бетона (например, под водой, во влажном грунте или при влажности воздуха окружающей среды свыше 75%) - в остальных случаях <p>для ячеистого и поризованного бетонов независимо от условий эксплуатации</p>	<p>1,00</p> <p>0,90</p> <p>0,85</p>
<p>б) при учете в рассматриваемом сочетании кратковременных нагрузок (непродолжительного действия) или особых нагрузок, не указанных в поз. а), для всех видов бетона</p>	<p>1,10</p>

Арматура

Арматура (от латинского слова «арма» – оружие, «армамент» – вооружение), применяется для армирования растянутой или сжатой зоны сечений элементов с целью увеличения прочности конструкций. Основное назначение – воспринимать растягивающие усилия (при изгибе, внецентренном сжатии, центральном и внецентренном растяжении), а также усадочные и температурные напряжения в конструкциях.

Арматуру классифицируют по следующим признакам

по функциональному назначению

- рабочая арматура;
- конструктивная арматура;
- монтажная арматура.

Под *рабочей* арматурой понимают арматуру, площадь сечения которой A_s определяют расчетом на действие внешних нагрузок.

Под *конструктивной* (продольной и поперечной) – арматуру, устанавливаемую без расчета и предназначенную для более равномерного распределения усилий между арматурными стержнями (конструктивная арматура еще носит название распределительной).

Под *монтажной* – арматуру, применяемую для обеспечения проектного положения рабочей арматуры при бетонировании изделий и для восприятия не учитываемых расчетом усилий от усадки и ползучести бетона, температурных напряжений, местных напряжений от сосредоточенных сил и других воздействий.

по химическому составу стали

- низкоуглеродистая сталь с содержанием углерода в пределах 0,09 – 0,2%;
- среднеуглеродистая сталь с содержанием углерода в пределах от 0,25 до 0,6%;
- высокоуглеродистая сталь с содержанием углерода более 0,6% но не более 1,2-2%.

по способу изготовления

- горячекатаная стержневая;
- холодноотянутая проволочная.

Под *горячекатаной* понимают стальную арматуру в виде отдельных стержней круглого сечения, получаемую путем проката в горячем состоянии.

Под *холоднотянутой* понимают стальную проволочную арматуру, получаемую из низкоуглеродистой или среднеуглеродистой стали путем волочения в холодном состоянии на волочильных станках.

по условиям поставки

- арматурные стали, поставляемые в пачках;
- арматурные стали, поставляемые в бухтах.

по профилю поперечного сечения

- гладкая арматура;
- арматура периодического профиля.

по условиям применения

- ненапрягаемая арматура;
- напрягаемая арматура.

по условиям свариваемости

- арматура, свариваемая любым способом;
- арматура, несвариваемая никаким способом.

Для армирования железобетонных конструкций применяется арматура, отвечающая требованиям соответствующих ГОСТ [9-12], следующих видов:

- *стержневая арматурная сталь*

а) горячекатаная – гладкая класса А-I(A240) и периодического профиля классов А-II(A300), А-III(A400), А-IV(A600), А-V(A800), А-VI(A1000);

б) термически и термомеханически упрочненная периодического профиля классов Ат-IV(At600), Ат-IVC(At600C), Ат-IVK(At600K), Ат-V(At800), Ат-VK(At800K), Ат-VI(At1000), Ат-VIK(At1000K), Ат-VII(At1200).

- *проволочная арматурная сталь:*

а) арматурная холоднотянутая проволока:

- обыкновенная – периодического профиля класса Вр-I(B500);

- высокопрочная – гладкая класса В-II и периодического профиля класса Вр-II(Bp1200...Bp1500).

б) арматурные канаты – спиральные семипроволочные класса К-7(K1400), девятнадцатипроволочные класса К-19(K1500).



Рис. 2.7. Диаграммы растяжения арматурных сталей

Расчет элементов железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

В практике строительства широко применяются изгибаемые железобетонные элементы, наиболее распространенными из них являются плиты и балки.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УМР

Аслава Р.Н.

« » 2019 г.

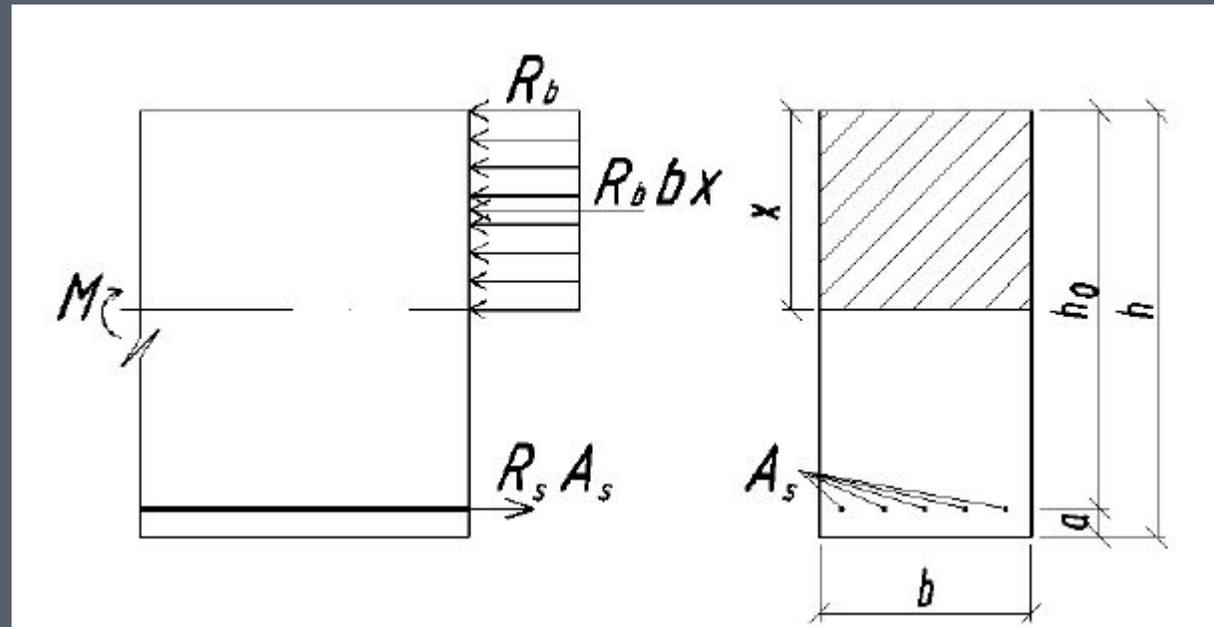
1. Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента

Расчет по прочности железобетонных элементов производится для сечений, нормальных к их продольной оси, а также для наклонных к ней сечений наиболее опасного направления. Кроме того, в случае необходимости выполняется расчет элементов на местное действие нагрузки (смятие, продавливание, отрыв).

1.1. Расчет изгибаемых элементов прямоугольного сечения с одиночной арматурой

К элементам с одиночной арматурой относятся элементы, у которых рабочая (расчетная) арматура располагается только в растянутой зоне

Расчетная схема изгибаемого элемента прямоугольного сечения с одиночной арматурой



x -высота сжатой зоны бетона

a - расчетный защитный слой бетона (3-7см)

h_0 - рабочая высота сечения $h_0=h-a$

A_s - суммарная площадь растянутой арматуры

R_s -расчетное сопротивление растяжению продольной арматуры

R_b -расчетное сопротивление бетона осевому сжатию

Несущая способность изгибаемого элемента считается обеспеченной, если выполняется следующее условие : $M \leq M_{сеч}$

Основные формулы для расчета изгибаемого элемента с одиночным армированием

1. $x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b}$ — высота сжатой зоны бетона

2. $M_{сеч} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$
 3. $M_{сеч} = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$ } несущая способность конструкции

4. $\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}$

5. $A_s = \frac{M}{\eta \cdot R_s \cdot h_0}$ } суммарная площадь

6. $A_s = \xi \cdot h_0 \cdot b \cdot \frac{R_b}{R_s}$ } арматуры

7. α_m, η, ξ — взаимозвязанные коэффициенты

8. α_R и ξ_R — граничные значения коэффициентов

$\xi_R \leq \xi$ } балка с одиночным армированием

$\alpha_m \leq \alpha_R$ (дополнительной арматуры в сжатой зоне бетона не требуется)

$\xi_R > \xi$
 $\alpha_m > \alpha_R$ балка с двойным армированием
(дополнительная арматура в сжатой зоне бетона требуется)

9. $\mu = \frac{As}{b \cdot h_0}$ - коэффициент армирования сечения балки

10. $\mu_R = \frac{Rb}{Rs} \cdot \xi_R$ - максимальный коэффициент армирования

$R_b \cdot \gamma_{b2}$ - при расчете по 1ой группе предельных состояний в расчет вводится коэффициент условия работы бетона, $\gamma_{b2} = 0,9$ - для тяжелого бетона

При помощи данных формул решаются 3 вида задач.

1 вид: Определение несущей способности балки.

Дано:
 $h, b, \kappa, V,$
 κ, A
 ϕ и n
арматуры

Найти:
 $M_{сеч}=?$

Решение:

1. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2}$ -таб.5.1.СП52-101-2003

R_s -таб.5.7 СП52-101-2003

A_s -таб.9 СП52-101-2003

2. Расчет по I группе предельных состояний:

• вычислим: $a_{\min} = \text{заш.слой} + \frac{d}{2}$

• рабочую высоту: $h_0 = h - a$

• высоту сжатой зоны бетона: $x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b}$

• определим несущую способность конструкции

$$M_{сеч} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$$

$$M_{сеч} = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$$

2 вид: Проверить несущую способность балки.

Дано:

$h, b, \text{кл. В,}$
 кл. А
 $\phi \text{ и п}$
арматуры,
 q, l

Найти:

$M_{\text{сеч}}? M$

Решение:

1. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2}$ -таб.5.1.СП52-101-2003

R_s -таб.5.7 СП52-101-2003

A_s -таб.9 СП52-101-2003

2. Статический расчет:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

3. Расчет по I группе предельных состояний:

• вычислим: $a_{\min} = \text{заш. слой} + \frac{d}{2}$

• рабочую высоту: $h_0 = h - a$

• высоту сжатой зоны бетона: $x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b}$

• определим несущую способность конструкции

$$M_{\text{сеч}} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$$

$$M_{\text{сеч}} = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$$

• Сравним $M_{\text{сеч}}$ и M

• Вывод:

3 вид: Определить A_s , диаметр и количество рабочей арматуры.

Дано:
 $h, b, \text{кл. В,}$
 кл. А
 q, l

Найти:
Ф и кол-во
рабочей
арматуры

Решение:

4. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2}$ — таб. 5.1. СП52-101-2003

R_s — таб. 5.7 СП52-101-2003

α_R, ξ_R — таб. 7

5. Статический расчет:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

6. Расчет по I группе предельных состояний:

- задаемся: a (3-7 см)
- рабочую высоту: $h_0 = h - a$

- вычисляем: $\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2}$

- по таблице определяем: η, ξ (таб. 8)

- вычисляем суммарную площадь рабочей

арматуры: $A_s = \frac{M}{\eta \cdot R_s \cdot h_0}$

или $A_s = \xi \cdot h_0 \cdot b \cdot \frac{R_b}{R_s}$

определяем количество и диаметр
рабочей арматуры:

(рисунок 1)

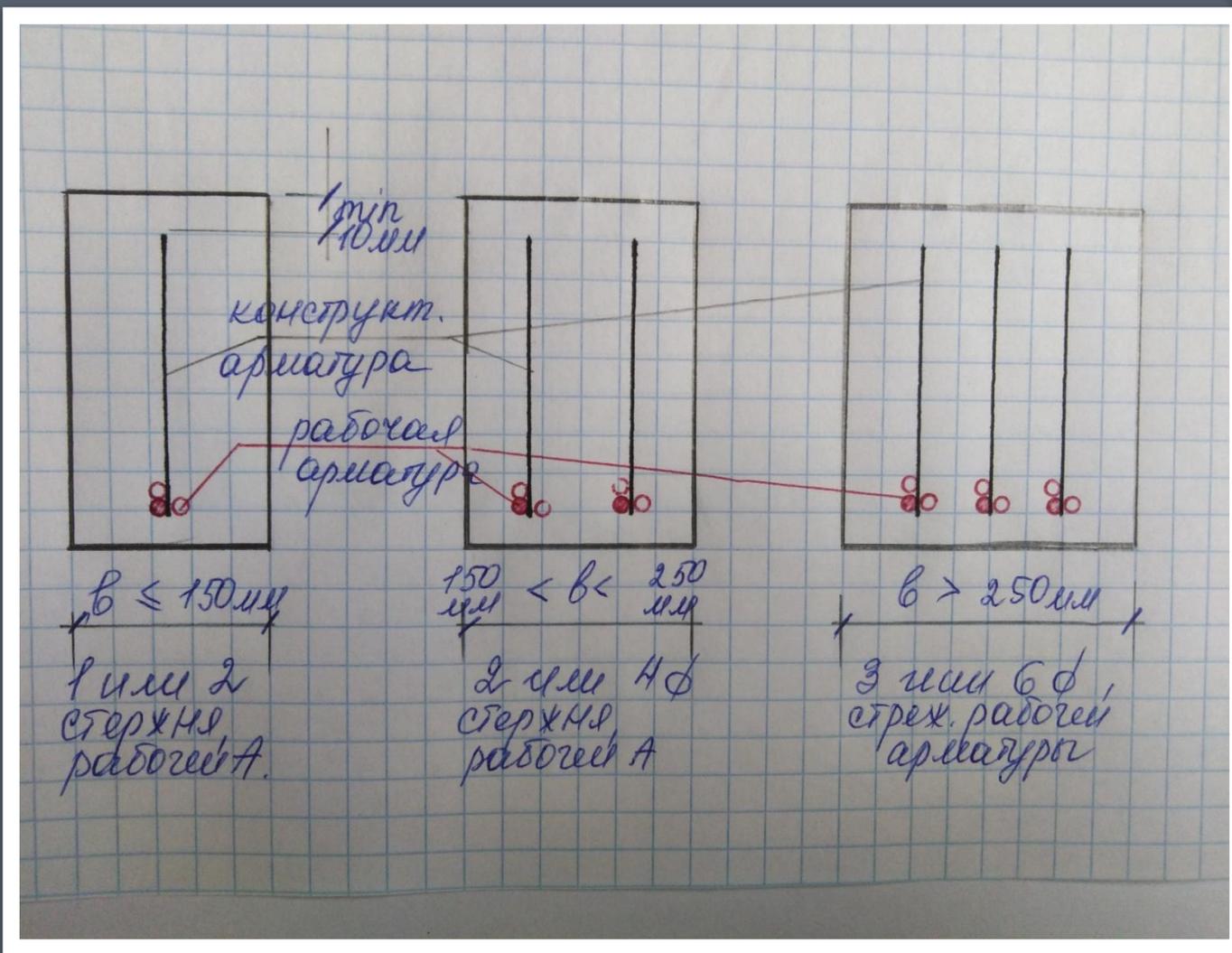


Рисунок 1

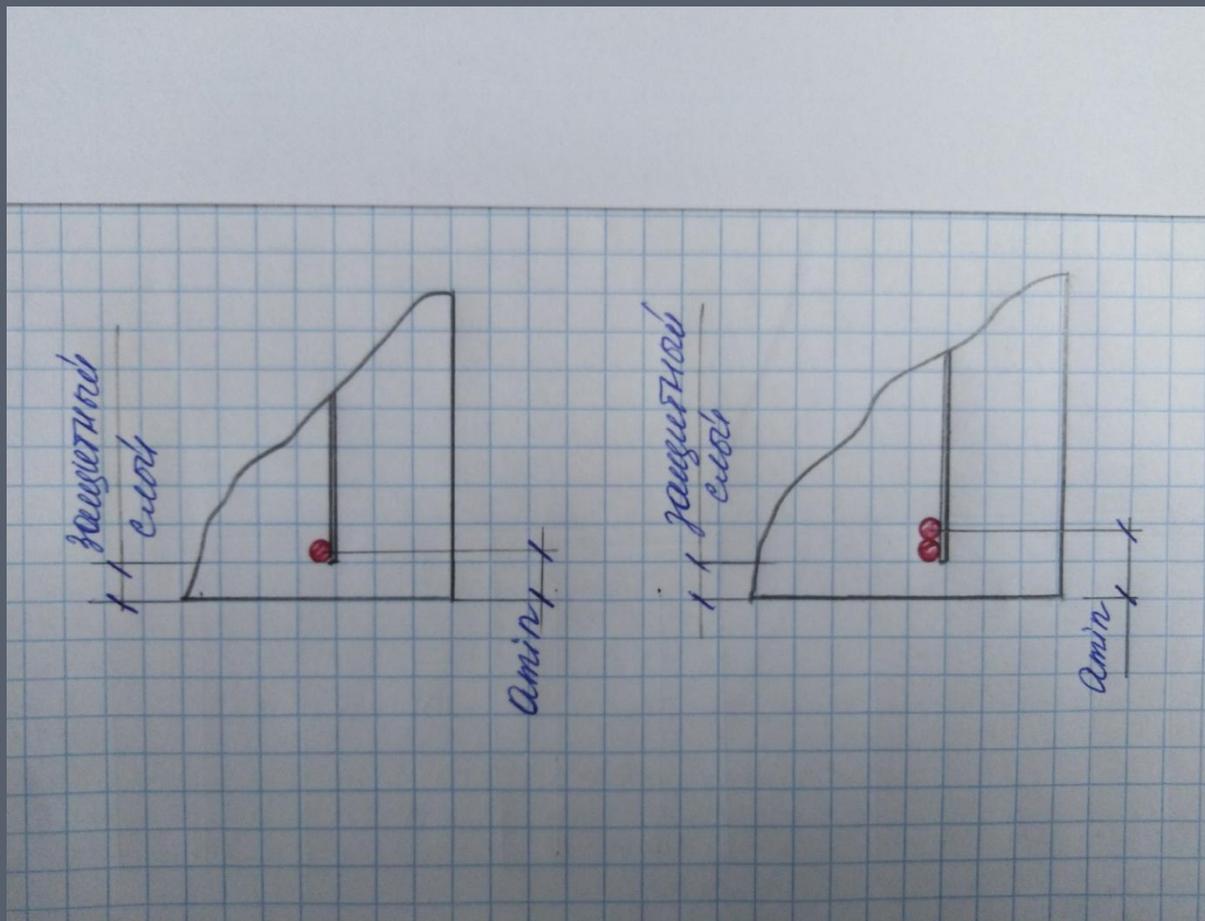


Рисунок 2

- проверяем достаточность защитного слоя бетона:
- (рисунок 2)

$$a_{\min} = \text{заш. слой} + \frac{d}{2} \quad \text{или} \quad a_{\min} = \text{заш. слой} + d + \frac{d}{2}$$

$a_{\min} \leq a$ - защитный слой достаточен

$a_{\min} > a$ - требуется перерасчет

- вычисляем коэффициент армирования сечения:

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \leq \mu_R = \frac{R_b}{R_s} \cdot \xi_R$$

- определим несущую способность конструкции

$$M_{\text{сеч}} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$$

$$M_{\text{сеч}} = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x)$$

- Сравним $M_{\text{сеч}}$ и M
- Вывод:

Пример задачи:

Дано:

$h=45\text{ см}, b=15\text{ см},$

кл. В30,

кл. А400

$q=30\text{ кН/м}, l=6\text{ м}$

Найти:

Ф и кол-во

рабочей

арматуры

Решение:

1. Исходные данные

Из СП:

$$R_b \cdot \gamma_{b2} = 17 \cdot 0,9 = 15,3 \text{ МПа} = 1,53 \text{ кН/см}^2$$

таб. 5.1. СП 52-101-2003

$$R_s = 355 \text{ МПа} = 35,5 \text{ кН/см}^2$$

таб. 5.7 СП 52-101-2003

$$\alpha_R = 0,39, \xi_R = 0,531 \text{ — таб. 7}$$

2. Статический расчет:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{30 \cdot 6^2}{8} = 135 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

3. Расчет по I группе предельных состояний:

• задаемся: $a=5\text{ см}$

• рабочую высоту: $h_0 = h - a = 45 - 5 = 40\text{ см}$

• вычисляем: $\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{135 \cdot 100}{1,53 \cdot 15 \cdot 40^2} = 0,37$

• по таблице определяем: $\eta = 0,755,$

$$\xi = 0,49 \text{ (таб. 8)}$$

- вычисляем суммарную площадь рабочей арматуры:

$$A_s = \frac{M}{\eta \cdot R_s \cdot h_0} = \frac{135 \cdot 100}{0,755 \cdot 35,5 \cdot 40} = 12,6 \text{ см}^2$$

определяем количество и диаметр рабочей арматуры:

$$2\phi 32 (A_s = 16,09 \text{ см}^2)$$

- проверяем достаточность защитного слоя бетона:

$$a_{\min} = \text{заш. слой} + \frac{d}{2} = 20 + \frac{32}{2} = 36 \text{ мм}$$

$a_{\min} = 36 \text{ мм} \leq a = 50 \text{ мм}$ - защитный слой достаточен

- вычисляем коэффициент армирования сечения:

$$\mu = \frac{16,09}{15 \cdot 40} = 0,02 \leq \mu_R = \frac{1,53}{35,5} \cdot 0,531 = 0,022$$

- высоту сжатой зоны бетона:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} = \frac{35,5 \cdot 16,09}{1,53 \cdot 15} = 24,9 \text{ см}$$

- определим несущую способность конструкции

$$M_{\text{сеч}} = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) = 35,5 \cdot 16,09 \cdot (40 - 0,5 \cdot 24,9) = 15736,42 \text{ кН} \cdot \text{см} = 157,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

- Сравним

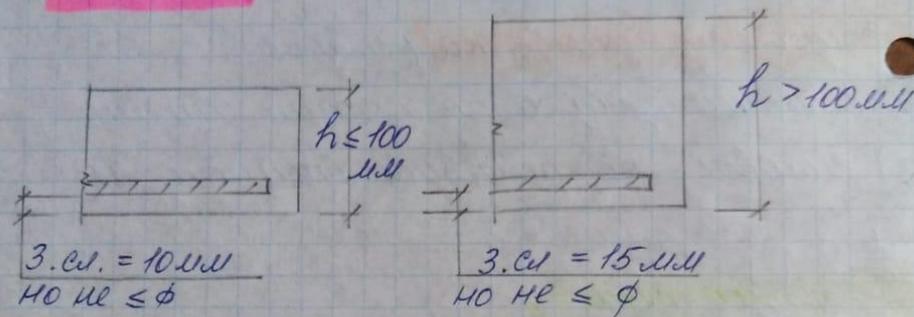
$$M_{\text{сеч}} = 157,4 \text{ кН} \cdot \text{м} > M = 135 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Вывод: несущая способность балки обеспечена, принимаем в качестве рабочей арматуры 2φ32 ($A_s = 16,09 \text{ см}^2$)

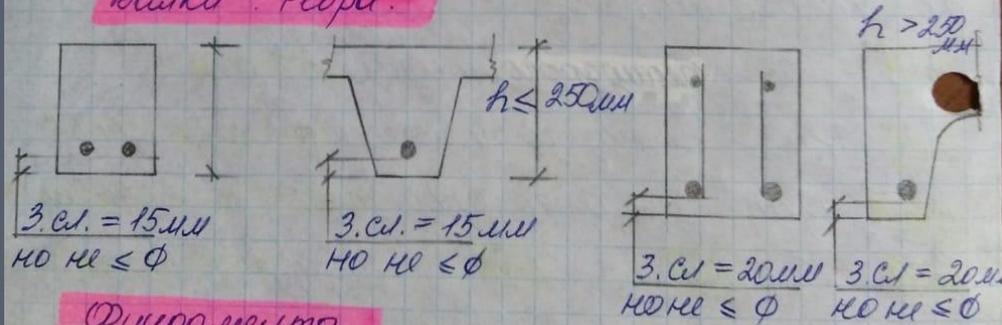
4. Защитный слой бетона

- обеспечивает совместно работу арматуры и бетона, а также защищает А от внешних атмосферных, т-ых и других воздействий.

Флиты

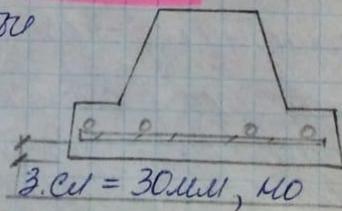


Балки. Ребра.

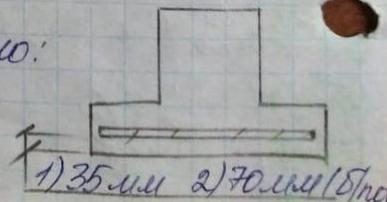


Фундаменты

Столбчатые сборные



Моно:



Расчет изгибаемых элементов прямоугольного сечения с двойной арматурой.

К элементам с двойной арматурой относятся элементы, у которых арматура располагается в сжатой и растянутой зоне бетона.

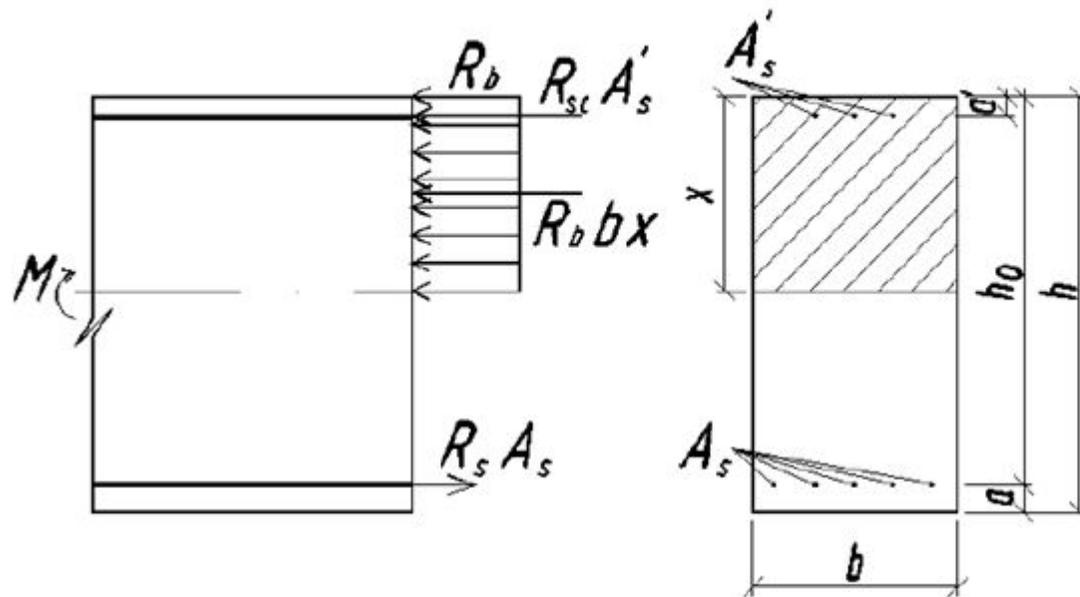


Рис.2 Расчетная схема изгибаемых элементов с двойной арматурой

A'_s — арматура сжатой зоны бетона

R_{sc} — расчетное сопротивление арматуры сжатию

Основные формулы для расчета изгибаемого элемента с двойным армированием

1. $\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0}$

2. α_m, η, ξ - взаимозвязанные коэффициенты

3. α_R и ξ_R - граничные значения коэффициентов

$\xi_R > \xi$ — балка с двойным армированием

$\alpha_m > \alpha_R$ — (дополнительная арматура в сжатой зоне бетона требуется)

4. $A_{s'} = \frac{M - \alpha_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')}$ — площадь арматуры сжатой зоны бетона

5. $A_s = A_{s'} + \xi \cdot h_0 \cdot b \cdot \frac{R_b}{R_s}$ — площадь арматуры растянутой зоны бетона

6. $M_{сеч} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_{s'} \cdot (h_0 - a')$ — несущая способность

7. $x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_{s'}}{R_b \cdot b}$ — высота сжатой зоны бетона

1 вид: Определение несущей способности балки.

Дано:

$h, b, \kappa_{л.В},$

$\kappa_{л.А}$

ϕ и n арматуры

сжатой и

растянутой

зоны

Решение:

3. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2}$ -таб.5.1.СП52-101-2003

R_s, R_{sc} -таб.5.7 СП52-101-2003

A_s, A_s' -таб.9 СП52-101-2003

α_R и ξ_R —таб.7

4. Расчет по I группе предельных состояний:

• вычислим: $a = a'$ (3-7 см)

• рабочую высоту: $h_0 = h - a$

• высоту сжатой зоны бетона: $x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{R_b \cdot b}$

• определим несущую способность конструкции

$$M_{сеч} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h_0 - a')$$

Найти:

$M_{сеч} - ?$

2 вид: Проверить несущую способность балки

Дано:

$h, b, \kappa, B,$

κ, A

ϕ и n арматуры

сжатой и

растянутой

зоны,

q, l

Найти:

$M_{сеч} ? M$

Решение:

1. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2}$ —таб.5.1.СП52-101-2003

R_s, R_{sc} —таб.5.7 СП52-101-2003

A_s, A_s' —таб.9 СП52-101-2003

α_R и ξ_R —таб.7

2. Статический расчет:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

3. Расчет по I группе предельных состояний:

• вычислим: $a = a'$ (3-7 см)

• рабочую высоту: $h_0 = h - a$

• высоту сжатой зоны бетона: $x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{R_b \cdot b}$

• определим несущую способность конструкции
 $M_{сеч} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h_0 - a')$

• Сравним $M_{сеч}$ и M

• Вывод:

3 вид: Определить A_s , A_s' диаметр и количество рабочей арматуры.

Дано:

$h, b, \kappa, B,$

κ, A

q, l

Найти:

ϕ и кол-во рабочей арматуры

Решение:

1. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2}$ -таб.5.1.СП52-101-2003

R_s, R_{sc} -таб.5.7 СП52-101-2003

α_R и ζ_R —таб.7

2. Статический расчет:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

3. Расчет по I группе предельных состояний:

• задаемся: $a = a' (3-7 \text{ см})$

• рабочую высоту: $h_0 = h - a$

• вычисляем: $\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} > \alpha_R$ -двойное

армирование

• Определяем площадь арматуры сжатой зоны

бетона:
$$A_s' = \frac{M - \alpha_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')}$$

принимаем ϕ и кол-во арматуры сжатой зоны бетона.

- Определяем площадь арматуры растянутой зоны бетона: $A_s = A_s' + \xi \cdot h_0 \cdot b \cdot \frac{R_b}{R_s}$
принимаем ϕ и кол-во арматуры сжатой зоны бетона.
- Определяем высоту сжатой зоны бетона:
$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{R_b \cdot b}$$
- Проверяем несущую способность балки:
$$M_{сеч} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h_0 - a') \geq M$$
- проверяем достаточность защитного слоя бетона:
$$a_{\min} = \text{защ. слой} + \frac{d}{2} \quad \text{или} \quad a_{\min} = \text{защ. слой} + d + \frac{d}{2}$$

$$a_{\min} \leq a - \text{защитный слой достаточен}$$

$$a_{\min} > a - \text{требуется перерасчет}$$
- Вывод:

Дано:

$h=45\text{ см}$,

$b=15\text{ см}$,

кл. В30,

кл. А400

$q=40\text{ кН/м}$,

$l=6\text{ м}$

Найти:

ϕ и кол-во

рабочей

арматуры

Решение:

1. Исходные данные

Из СП: $R_b \cdot \gamma_{b2} = 17 \cdot 0,9 = 15,3\text{ кН/м}^2 = 1,53\text{ кН/см}^2$,

таб. 5.1. СП 52-101-2003

$R_s = 35,5\text{ кН/см}^2$, $R_{sc} = 35,5\text{ кН/см}^2$ - таб. 5.7

СП 52-101-2003

$\alpha_R = 0,39$ и $\zeta_R = 0,531$ — таб. 7

2. Статический расчет:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{40 \cdot 6^2}{8} = 180\text{ кН} \cdot \text{м}$$

3. Расчет по I группе предельных состояний:

• задаемся: $a = a' = 6\text{ см}$

• рабочую высоту: $h_0 = h - a = 45 - 6 = 39\text{ см}$

• вычисляем: $\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{180 \cdot 100}{1,53 \cdot 15 \cdot 39^2} = 0,49$

$> \alpha_R = 0,39$ - двойное армирование

• Определяем площадь арматуры сжатой зоны бетона:

$$A_{s'} = \frac{M - \alpha_R \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')} = \frac{180 \cdot 100 - 0,39 \cdot 1,53 \cdot 15 \cdot 39^2}{35,5 \cdot (39 - 5)} = 2,96\text{ см}^2$$

принимаем ϕ и кол-во арматуры сжатой зоны бетона --
 $2\phi 14$ ($A_{s'} = 3,08\text{ см}^2$)

- Определяем площадь арматуры растянутой зоны бетона:

$$A_s = A_s' + \xi \cdot h_0 \cdot b \cdot \frac{R_b}{R_s} = 3,08 + 0,531 \cdot 39 \cdot 15 \cdot \frac{1,53}{35,5} = 16,81 \text{ см}^2$$

принимаем ϕ и кол-во арматуры сжатой зоны бетона - $2\phi 36$ ($A_s = 20,36 \text{ см}^2$)

- Определяем высоту сжатой зоны бетона:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{R_b \cdot b} = \frac{35,5 \cdot 20,36 - 35,5 \cdot 3,08}{1,53 \cdot 15} = 26,77 \text{ см}$$

- Проверяем несущую способность балки:

$$\begin{aligned} M_{\text{сеч}} &= R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_s' \cdot (h_0 - a') = \\ &= 1,53 \cdot 15 \cdot 26,77 \cdot (39 - 0,5 \cdot 26,77) + 35,5 \cdot 3,08 \cdot (39 - 5) = \\ &= 20178,39 \text{ кН} \cdot \text{см} = 210,78 \text{ кН} \cdot \text{м} \geq M = 180 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

- проверяем достаточность защитного слоя бетона:

$$a_{\text{min}} = \text{защ. слой} + \frac{d}{2} = 36 + \frac{36}{2} = 54 \text{ мм} \leq a = 60 \text{ мм} - \text{защитный слой достаточен}$$

- Вывод: В результате расчета принимаем $2\phi 14$ ($A_s' = 3,08 \text{ см}^2$)-арматура сжатой зоны; $2\phi 36$ ($A_s = 20,36 \text{ см}^2$)-арматура растянутой зоны бетона.