

# **Раздел 4 - Железобетонные конструкции**

## **Тема лекции - Расчет элементов бетонных конструкций**

### **План лекции:**

- **конструктивные особенности;**
  - **изгибаемые элементы;**
  - **сжатые элементы;**
- **расчет на местное сжатие (смятие)**

# 9.1 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

К бетонным конструкциям относятся такие, прочность, трещиностойкость и жесткость которых обеспечиваются только бетоном.

Это могут быть неармированные и слабоармированные элементы, т. е.

содержащие арматуру в количестве, меньшем конструктивного минимума.

Влияние арматуры на работу слабоармированных элементов

Из неармированного и слабоармированного бетона изготавливают преимущественно элементы конструкций, работающие на сжатие (фундаментные и стеновые блоки, подпорные стенки, панели стен и др.)

или лежащие на сплошном основании (плиты дорог и аэродромных покрытий и др.). Армируют такие элементы конструктивно (без расчета)

для восприятия температурно-усадочных растягивающих

Нормы рекомендуют применять бетонные элементы преимущественно в конструкциях, работающих на сжатие при малых эксцентриситетах продольной силы, не превышающих при основном сочетании нагрузок

В отдельных случаях бетонные элементы могут применяться в конструкциях, работающих на сжатие с большим эксцентриситетом  $0,9\gamma$ , где  $\gamma$  – расстояние от центра тяжести сечения до наиболее сжатого волокна, или на изгиб, если их разрушение не представляет опасности для людей

Вследствие неоднородности бетона и других случайных факторов свойства его могут колебаться в довольно широких пределах, поэтому в расчет следует вводить показатели прочности, заданные с определенной надежностью.

Классы бетона по прочности на сжатие, обозначаемые **B**, соответствуют гарантируемой прочности с обеспеченностью 0,95 и численно равны нормативной кубиковой прочности **R<sub>n</sub>**. Класс бетона по прочности или нормативное сопротивление является базисной (контролируемой) характеристикой бетона. Она указывается на рабочих чертежах изделий и должна обеспечиваться

при их изготовлении.

Класс бетона по прочности на сжатие **B** устанавливают по результатам испытаний бетонных кубиков с ребром **15 см** после **28-суточного** хранения при температуре **20±2°C** и относительной влажности среды не ниже **95 %**.

Для бетонных и железобетонных конструкций из обычных тяжелых бетонов предусмотрены следующие классы по прочности на сжатие: **B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60**.

Для железобетонных конструкций из тяжелого бетона не допускается бетон класса ниже **B7,5**.

При многократно повторяющейся нагрузке рекомендуется бетон класса не ниже **B15**.

Для железобетонных сжатых стержневых элементов следует принять бетон класса не ниже **B15**, а при больших нагрузках (например, для колонн нижних этажей многоэтажных зданий или при значительных крановых нагрузках) – не ниже **B25**.

**$V_t$ :**

**$V_t$  0,8;  $V_t$ 1,2;  $V_t$ 1,6;  $V_t$ 2;  $V_t$ 2,4;  $V_t$ 2,8;  $V_t$ 3,2.**

**Марка бетона по средней плотности отвечает средней плотности бетона в высушенном состоянии в  $\text{кг}/\text{м}^3$ .**

**Для легких бетонов на пористых заполнителях марки бетона по плотности лежат в пределах  $D800 - D2000$  с интервалом 100.**

**При плотности выше 2000 до 2200  $\text{кг}/\text{м}^3$  бетоны относят к облегченным, а при более 2200  $\text{кг}/\text{м}^3$  – к тяжелым.**

Марка бетона по морозостойкости характеризует количество циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии, которое выдерживают образцы. Для тяжелого бетона установлены следующие марки по морозостойкости: **F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500.**

**Марки бетона по водонепроницаемости: W2; W4; W6; W8; W10; W12**

# 9.2 ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Бетонные изгибаемые элементы рассчитывают из условия

равновесия в предельном состоянии

Расчет изгибаемых бетонных элементов должен производиться из условия

$$M \leq \alpha R_{bt} W_{pl},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый равным для бетона:

тяжелого, мелкозернистого, легкого и поризованного.....

1,00

ячеистого

автоклавногo.....0,85

ячеистого

неавтоклавногo.....0,75

$W_{pl}$  – момент сопротивления  
волокна с  
учетом неупругих деформаций

$$W_{pl} = \frac{2I}{h^c - x} - S_t$$

– статического растянутого  
бетона,

определяемый по

где  $I_c$  – момент инерции сжатой зоны сечения относительно нулевой линии;

$S_t$  - статический момент растянутой части сечения относительно той же оси.  
Для элементов прямоугольного сечения

$$W_{pl} = \frac{bh^2}{3,5}$$

Тогда  
а

$$M = \alpha \frac{bh^2}{3,5} R_{bt}$$

Величину  $W_{pl}$  допускается определять также по формуле

$$W_{pl} = \gamma W_{el}$$

т.е. умножением величины упругого момента сопротивления крайнего растянутого волокна сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения  $W_{el}$ , на коэффициент  $\gamma$ , значения которого зависят от формы сечения; например, для прямоугольного и таврового сечения с полкой в сжатой

## 9.3 СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Сжатыми называют элементы, которые подвергаются действию продольной сжимающей силы независимо от ее эксцентриситета.

При расчете внецентренно сжатых бетонных элементов следует учитывать случайный эксцентриситет  $e_a$  обусловленный неоднородностью бетона по сечению элемента и другими случайными факторами.

Значение этого эксцентриситета принимается равным не менее  $1/600$  свободной длины элемента и  $1/30$  высоты сечения. Случайный эксцентриситет в элементах статически определимых конструкций суммируется с расчетным эксцентриситетом продольного усилия  $e_0 = e_{0N} + e_a$ .

Во внецентренно сжатых бетонных элементах влияние прогиба элемента на величину эксцентриситета продольной силы учитывается умножением величины

$e_0$  на коэффициент продольного изгиба

$$\eta = \frac{1}{1 - N/N_{cr}},$$



где  $N_{cr}$  - условная критическая сила, определяемая по формуле

$$N_{cr} = \frac{6,4E_b I}{\varphi_l l_o^2} \left( \frac{0,11}{0,1 + \delta_e} + 0,1 \right),$$

где  $I$  – момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести

бетонного сечения;

$\varphi_l$  – коэффициент, больший единицы, учитывающий влияние длительного

действия нагрузки на жесткость элемента в предельном состоянии;

$\delta_e$  – коэффициент, зависящий от длины элемента и не менее величины

$$\delta_{e,\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_o}{h} - 0,01 R_b$$

$$\varphi_l = 1 + \beta \frac{M_l}{M},$$

где  $\beta$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от вида бетона (для тяжелого

бетона  $\beta = 1$ );

$M_l$  и  $M$  – момент относительно менее напряженной грани сечения соответственно от длительно действующей части нагрузки и от полной.

Гибкость определяется по следующим формулам:

а) при любой форме сечения  $\lambda = l_0 / i$

б) при прямоугольной форме сечения

$$\lambda = l_0 \sqrt{12} / h$$

$$i = \sqrt{I / A}$$

где  $i$  – радиус инерции сечения в плоскости изгиба;

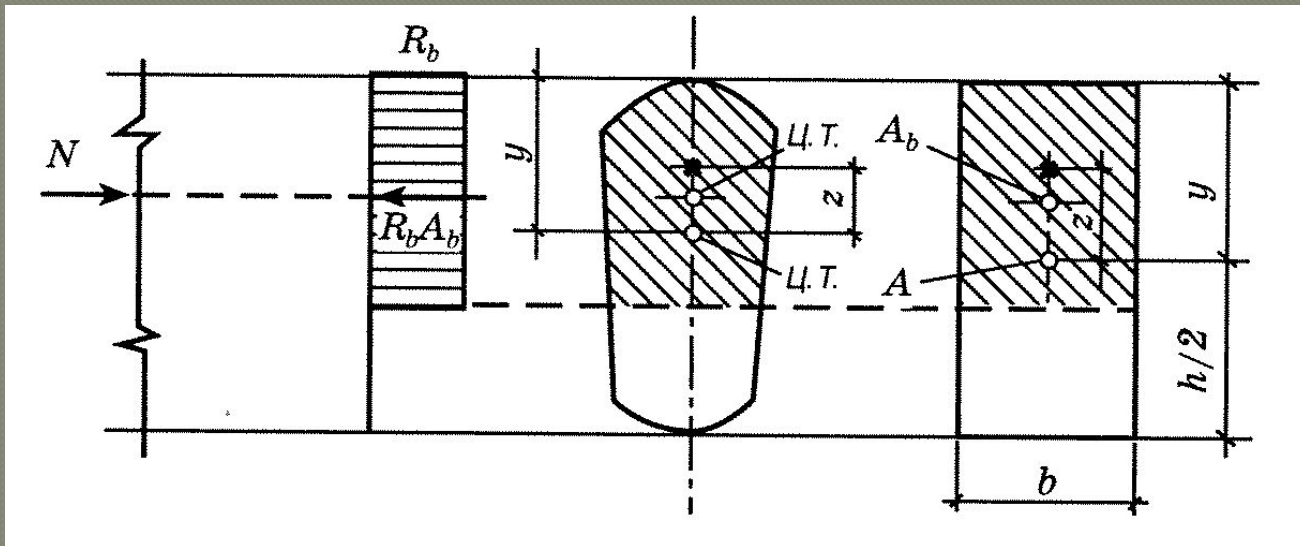
Расчетные длины  $l_0$  стеновых сечений столбов принимаются при опирании на несмещаемые опоры в виде перекрытий равными высоте столба и стены  $H$ ;

при упругих смещаемых опорах –  $(1,25 - 1,5)H$ ;

При гибкости  $\lambda < 14$  их допускается принимать  $\eta = 1$ . Если гибкость в плоскости,

нормальной плоскости изгиба, превышает гибкость в плоскости изгиба, необходимо  $e_0 = e_a \cdot \alpha$

проверить прочность элемента также в плоскости, нормальной плоскости



*Схема действующих усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сжатого бетонного элемента*

**Нормальные сечения сжатых бетонных элементов, в которых допускается появление трещин, рассчитывают с учетом работы только сжатого бетона**

**и при расчетной прямоугольной эпюре напряжений по формуле**

$$N \leq R_b A_b,$$

где  $A_b$  – площадь сжатой зоны бетона, определяемая из условия прохождения внешней силы через центр тяжести сжатой зоны (см. рисунок).

**Для прямоугольного сечения**

$$A_b = bh \left( 1 - \frac{2e_o \eta}{h} \right).$$

**Если трещины в растянутой зоне недопустимы, необходимо также проверить прочность растянутой зоны из условия**

$$N \leq \frac{R_{bt} W_{pl}}{e_o \eta - r},$$

где  $r$  – расстояние от центра тяжести сечения до ядровой точки

(см. рисунок **z**).

**Для сечения прямоугольной формы это условие примет вид**

$$N \leq \frac{1,75 R_{bt} bh}{6e_o \eta / h - \varphi}.$$

# 9.4 РАСЧЕТ НА МЕСТНОЕ СЖАТИЕ (СМЯТИЕ)

При передаче сжимающего усилия не на всю площадь сечения, а лишь на какую-то ее часть (на площадку смятия), расчетное сопротивление бетона местному сжатию (смятию) возрастает, так как в сопротивлении действию-

ющему усилию участвуют также бетон, окружающий площадку смятия. Бетонные сечения при местном сжатии (смятии) рассчитывают по формуле

Такие условия работы бетона  $N \leq \psi R_{b,loc} A_{loc1}$ , при опирании балок,

где  $N$  - расчетная нагрузка, приложенная к площадке смятия (местная или суммарная нагрузка от оборудования на бетонные поверхности, в стыках элементов.

местной и основной нагрузки);

$A_{loc1}$  - площадь смятия;

$\psi$  - коэффициент, принимаемый равным 1 при равномерном распределении

нагрузки на площади смятия и равным 0,75 при неравномерном (например,

под концом балок):

$$R_{b,loc} = \alpha \varphi_b R_b,$$

$$\alpha \varphi_b \geq 1$$

где  $\alpha = 1$  для бетона класса ниже В25;

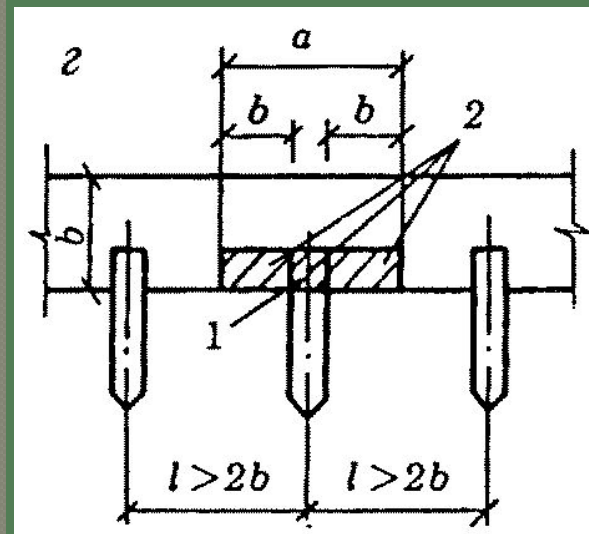
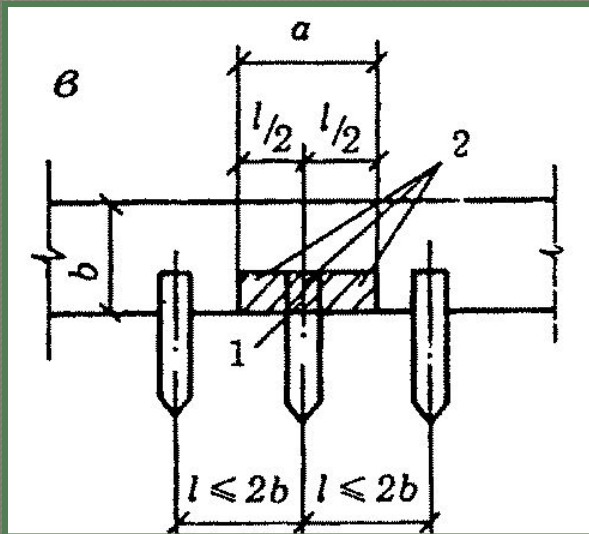
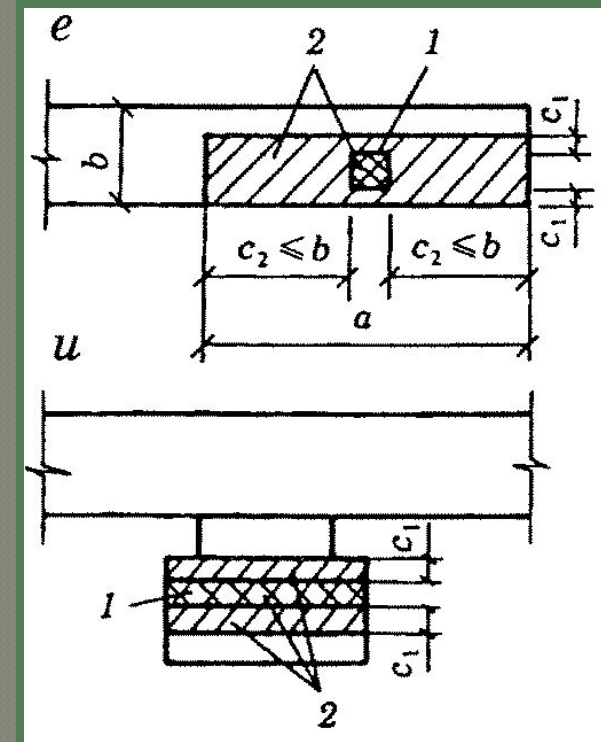
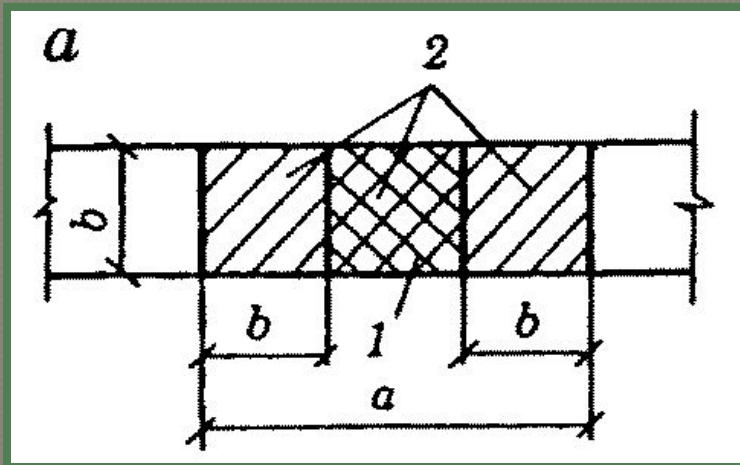
$\alpha = 13,5 R_{bt}/R_b$  для бетона классов В25 и выше;

$R_b$  и  $R_{bt}$  – принимаются как для бетонных конструкций с коэффициентом условия работы  $\gamma_{b9} = 0,9$ .

$$\varphi_b = \sqrt[3]{A_{loc2} / A_{loc1}},$$

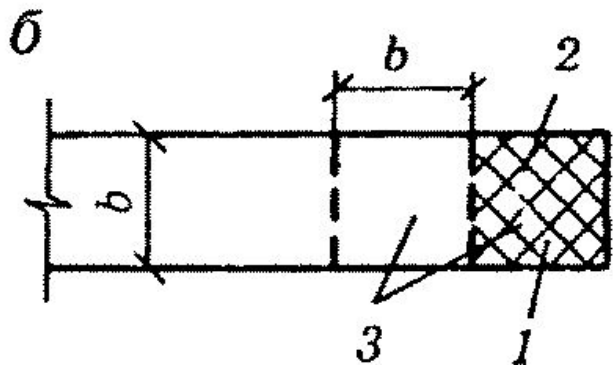
но не более 2,5 для бетона класса выше В7,5 при схеме положения нагрузки по рисунку (а, в, г, е, и), а также не более 1 при схеме положения нагрузки б, д, ж;

где  $A_{loc2}$  – расчетная площадь смятия, в которую включается участок, симметричный по отношению к площади смятия.



**а** – при местной нагрузке по всей ширине элемента;

**в, г** – при местной нагрузке в местах опирания концов балок; **е** – при местной нагрузке, приложенной на части длины и ширины элемента; **и** – сечений сложной формы; **1** – площадь смятия; **2** – расчетная площадь смятия; **3** – минимальная зона армирования сетками, при которой косвенное армирование учитывается расчетом



**б** – при местной краевой нагрузке;  
**д**– при местной краевой нагрузке на  
 угол элемента;

**ж** – при местной краевой нагрузке,  
 расположенной в пределах выступа  
 стены (пилястры);

**1** – площадь смятия; **2** – расчетная  
 площадь смятия; **3** – минимальная зона  
 армирования сетками, при которой  
 косвенное армирование учитывается  
 расчетом

