



Томский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра
«Железобетонные и каменные конструкции»

Дисциплина
«ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

Часть I
Курс лекций

Тема 1. Физико-механические свойства и экспериментальные основы теории сопротивления железобетона

**Лекция 2.
Классификация бетонов**

Составитель: В. В. Родевич

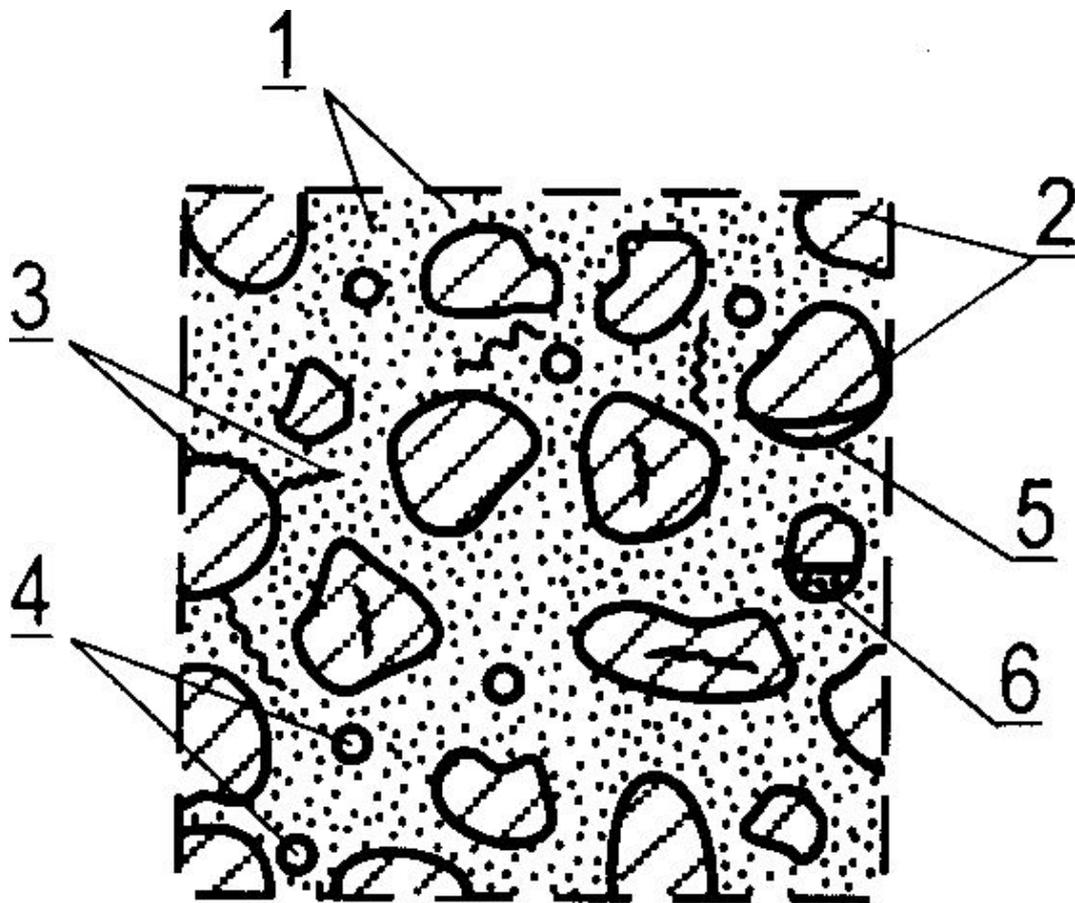
Вопросы:

1. Структура бетона
2. Классификация бетона
3. Прочностные свойства бетона
4. Классы и марки бетона

1. Структура бетона

Структура бетона грубо неоднородна и зависит от многих факторов. Она формируется в виде пространственной решетки из цементного камня, заполненной зернами крупных и мелких заполнителей и пронизанной многочисленными микропорами и капиллярами, содержащими химически не связанную воду, водяные пары и воздух.

С физической точки зрения бетон представляет собой капиллярно-пористое тело, в котором резко нарушена сплошность массы и присутствуют все три фазы: твердая, жидкая и газообразная.

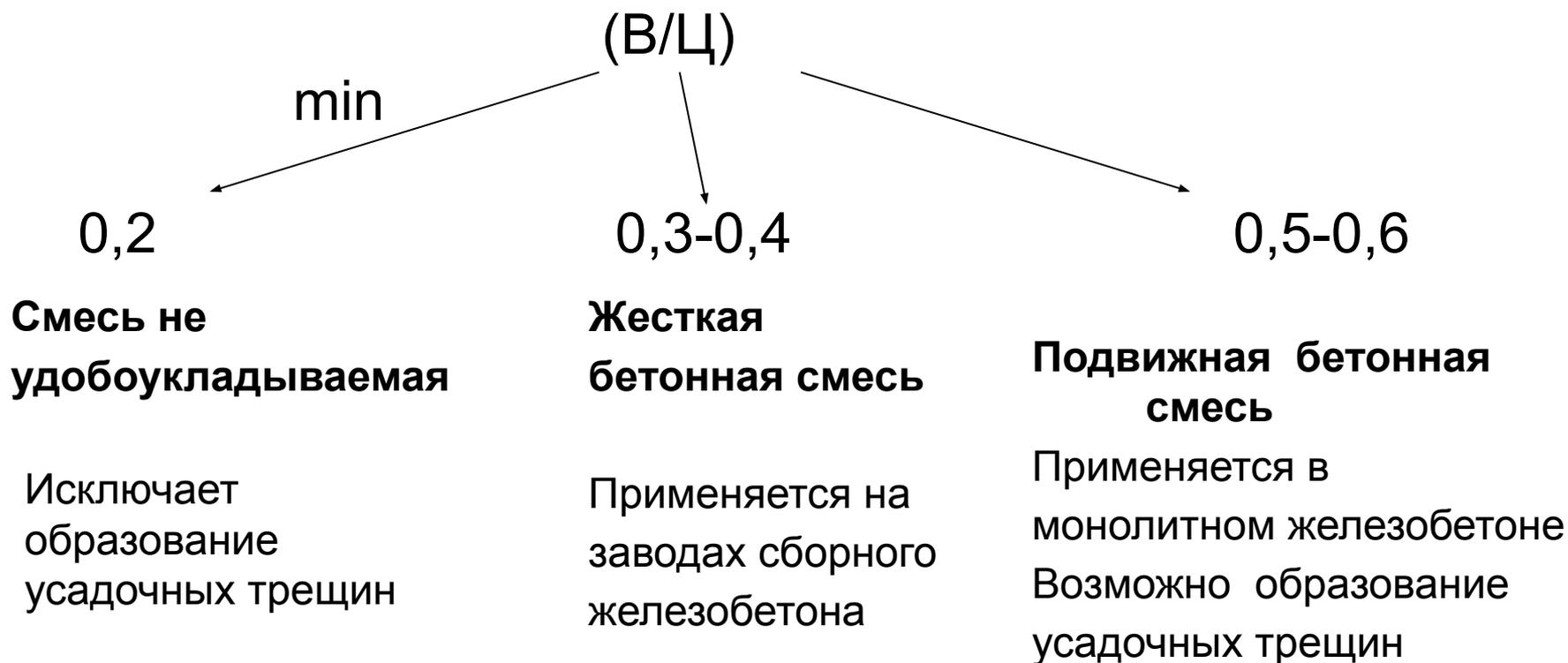


- 1 - окаменевший цементно-песчаный раствор;
- 2 - зерна крупного заполнителя;
- 3 - структурные трещины в матрице и на границе зерен заполнителя;
- 4 - крупные поры и капилляры;
- 5 - пустоты под зернами крупного заполнителя;
- 6 - разрыхленная порами структура цементного камня под отдельными зернами крупного заполнителя

Цементный камень состоит из упругого, кристаллического состава и наполняющей его вязкой массы - геля. Сочетание упругой и вязкой структурных составляющих цементного камня наделяет бетон свойствами упруго-пластично-ползучего тела.

Эти свойства проявляются в поведении бетона под нагрузкой и в его взаимодействии с внешней средой.

Свойства цементного камня зависят от водоцементного отношения (В/Ц).



2. Классификация бетона



По структуре

- плотный бетон, в котором пространство между зернами заполнителя занято затвердевшим вяжущим;
- крупнопористый бетон – пространство между зернами заполнителя заполнено частично;
- поризованный бетон - бетон, в котором пространство между зернами заполнителя поризовано посредством введения специальных добавок;
- ячеистый бетон - бетон с искусственно созданными порами.

По средней плотности

- Особо тяжелые
 $\rho > 2500$ кг/м³,
- Тяжелые
 $\rho = 2200 \dots 2500$ кг/м³,
- Облегченные (мелкозернистые)
 $\rho = 1800 \dots 2200$ кг/м³,
- Легкие
 $\rho = 500 \dots 1800$ кг/м³

По виду вяжущего

- цементные;
- полимерцементные;
- на известковом вяжущем (силикатные);
- на гипсовом;
- на специальных вяжущих

По виду заполнителя

- на плотных естественных заполнителях (гравий, щебень);
- на пористых природных заполнителях (перлит, пемза, ракушечник);
- на искусственных заполнителях (керамзит);
- на специальных заполнителях, которые удовлетворяют требованиям биологической защиты, жаростойкости, химической стойкости и т.д.

По зерновому составу

- крупнозернистые
 $D_{\max} < 32$ мм
- с крупным и мелким
заполнителем
 $D_{\max} = 5-32$ мм
- мелкозернистый
(только с мелким
заполнителем)
 $D_{\max} < 5$ мм

По назначению

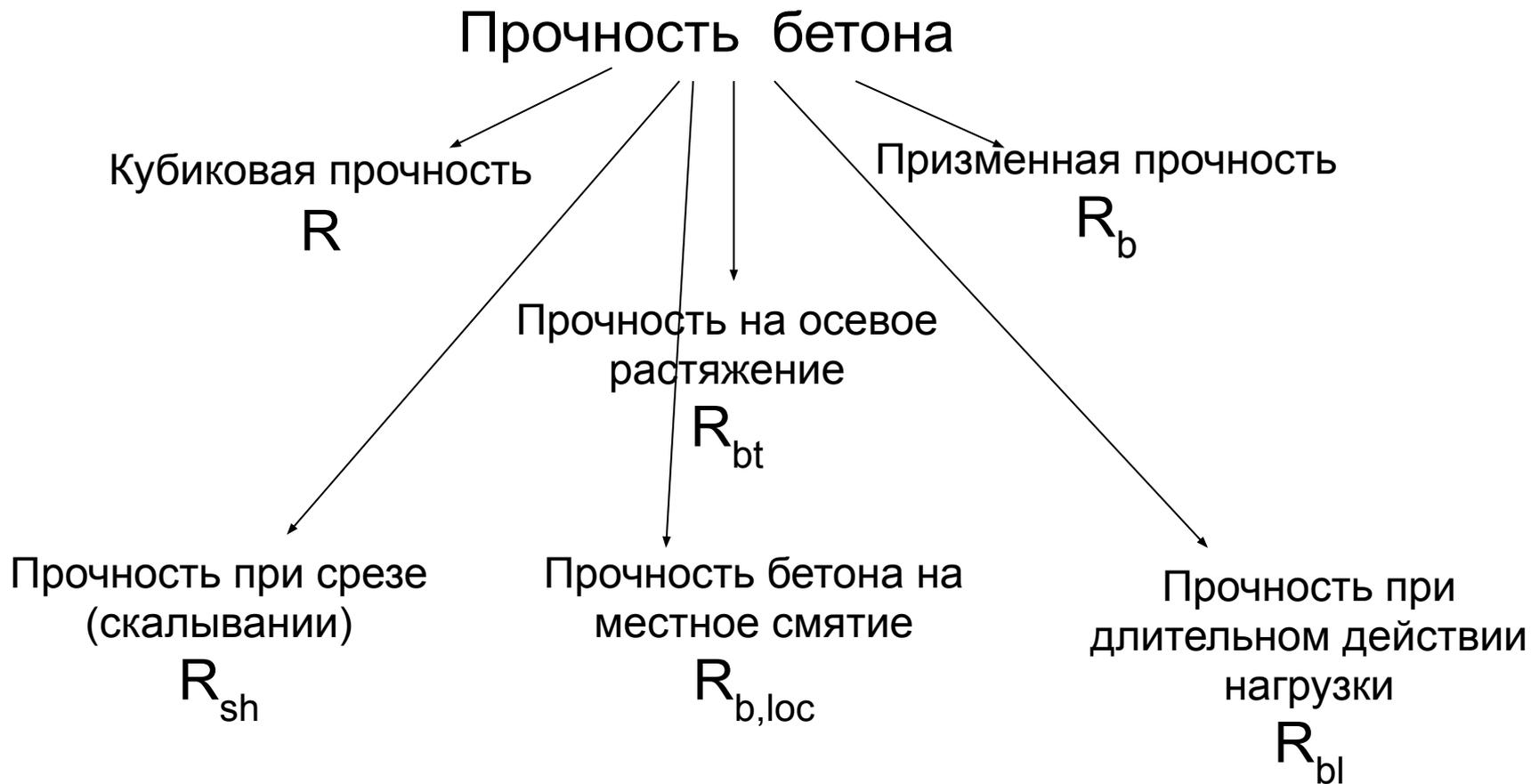
конструкционные бетоны для изготовления несущих конструкций
Теплоизоляционные бетоны – для изготовления ограждающих конструкций
специальные – бетоны, к которым предъявляются специальные требования в соответствии с их назначением (жаростойкие, коррозионно стойкие бетоны)

По способу твердения

- естественного твердения
 $T=18$ °С, $P_{\text{АТМ}}=765$ мм.рт.ст
 $W=90-100$ %
- бетон, подвергнутый
тепловлажностной
обработке при
атмосферном давлении
 $T=100-120$ °С, $P=765$ мм.рт.ст
 $W=95-100$ %
- бетон, подвергнутый
автоклавной обработке при
повышенном давлении
 $T=100-120$ °С, $P=(2-3) P_{\text{АТМ}}$
 $W=95-100$ %

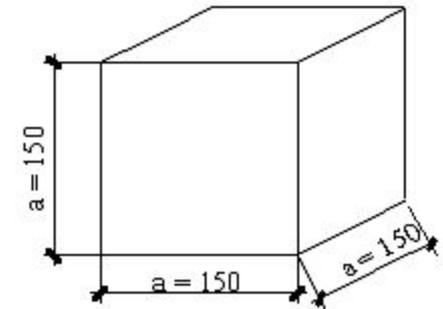
3. Прочностные свойства бетона

Под прочностью бетона понимают его способность сопротивляться воздействию внешних сил, не разрушаясь.

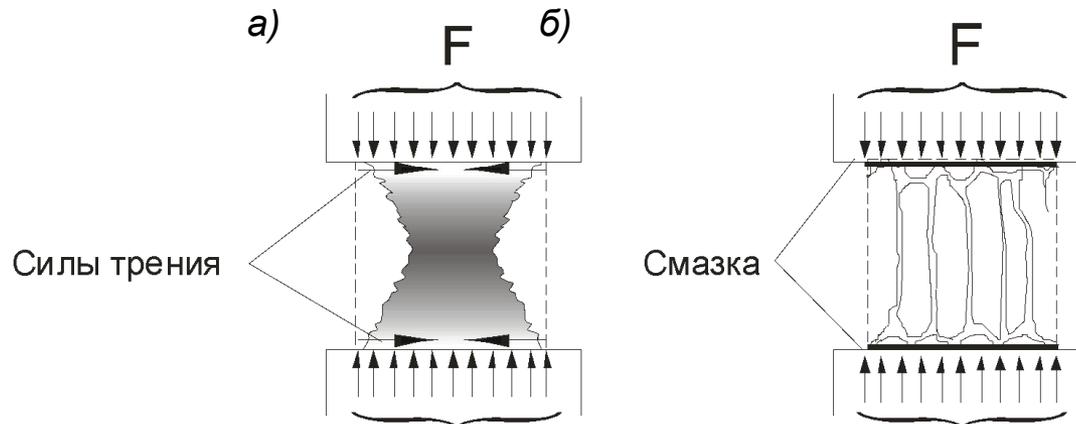


Кубиковая прочность R

Под кубиковой прочностью понимают временное сопротивление осевому сжатию стандартного куба с размером ребра 150 мм



Стандартный бетонный образец для определения прочности на сжатие



Характер разрушения бетонных кубов:

а - при наличии трения по опорным плоскостям;

б - при отсутствии трения по опорным плоскостям

$$R = \alpha \frac{F}{A}$$

α - переводный коэффициент,

$\alpha = 0,95$ при $b = 100$ мм

$\alpha = 1,0$ при $b = 150$ мм

$\alpha = 1,05$ при $b = 200$ мм

$\alpha = 1,1$ при $b = 300$ мм

Призменная прочность

 R_b

Под призменной прочностью понимают временное сопротивление осевому сжатию призмы с отношением высоты призмы к размеру квадратного основания, равным 4

$$R_b = \alpha \frac{F}{A}$$

α - переводный коэффициент,

$\alpha = 0,95$ при $a = 100$ мм

$\alpha = 1,0$ при $a = 150$ мм

$\alpha = 1,05$ при $a = 200$ мм

$\alpha = 1,1$ при $a = 300$ мм

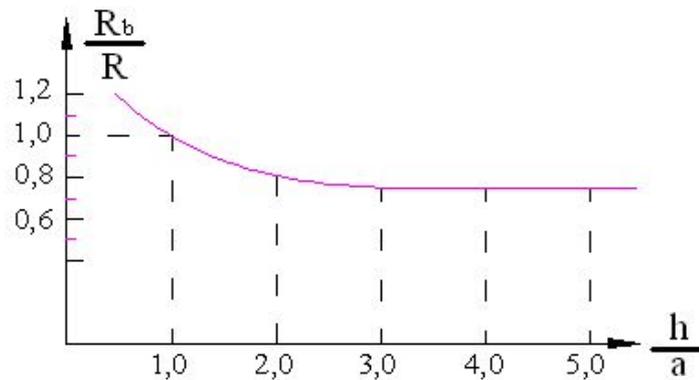
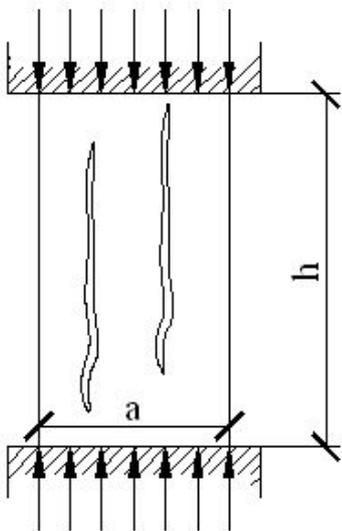
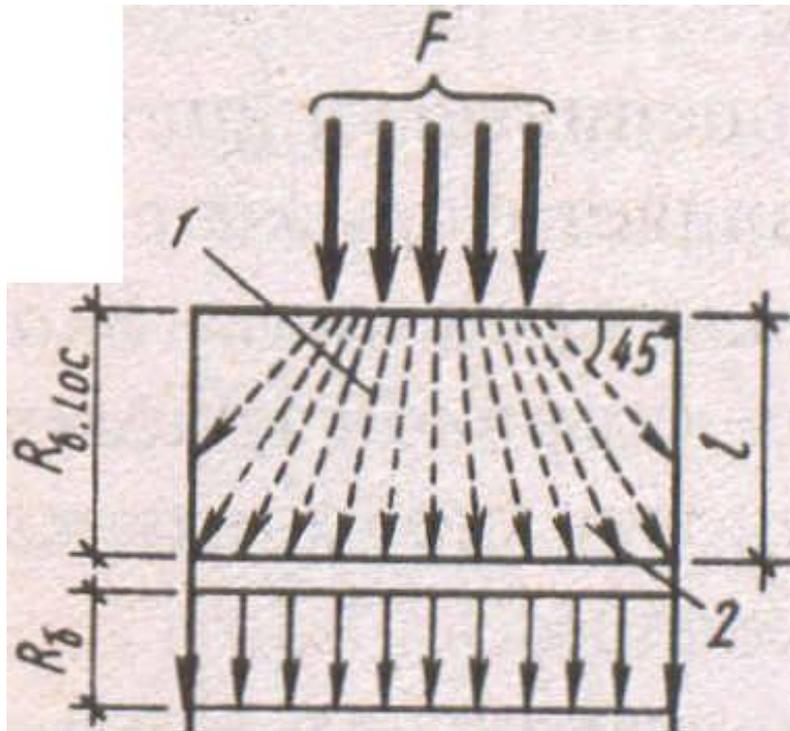


График зависимости призменной прочности бетона от отношения размеров испытываемого образца

Прочность бетона на местное смятие

$R_{b,loc}$



$$R_{b,loc} = \gamma_b \beta_b R_b$$

$\gamma_b = 1$ - для бетона классов ниже В25;

$\gamma_b = 13.5 R_{bt} / R_b$ - для бетона классов В25 и выше

$$\beta_b = \sqrt{A_d / A_{loc}} \leq 1,5$$

коэффициент условного
увеличения прочности бетона;

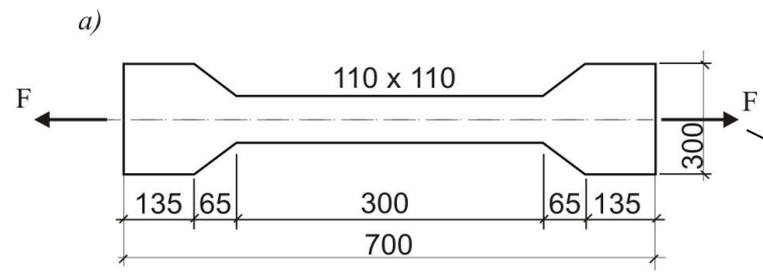
A_d - площадь бетонного элемента;

A_{loc} - площадь загруженной части (площадь смятия).

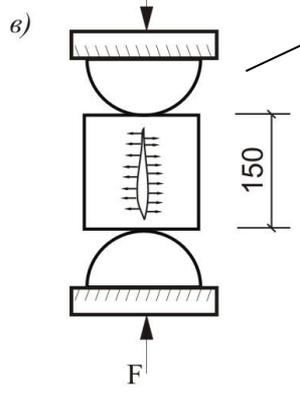
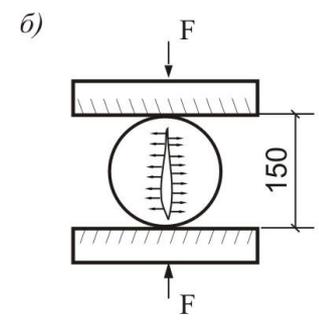
Прочность на осевое растяжение

R_{bt}

зависит от прочности при растяжении цементного камня и его сцепления с зернами крупного заполнителя.



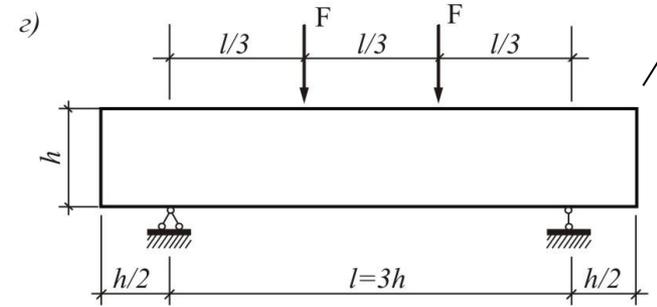
$$\sigma_{bt} = F / A$$



$$\sigma_{bt} = 3,5M / (bh^2)$$

Эмпирический метод

$$R_{bt} = 0.234 \sqrt[3]{R^2}$$



Как правило

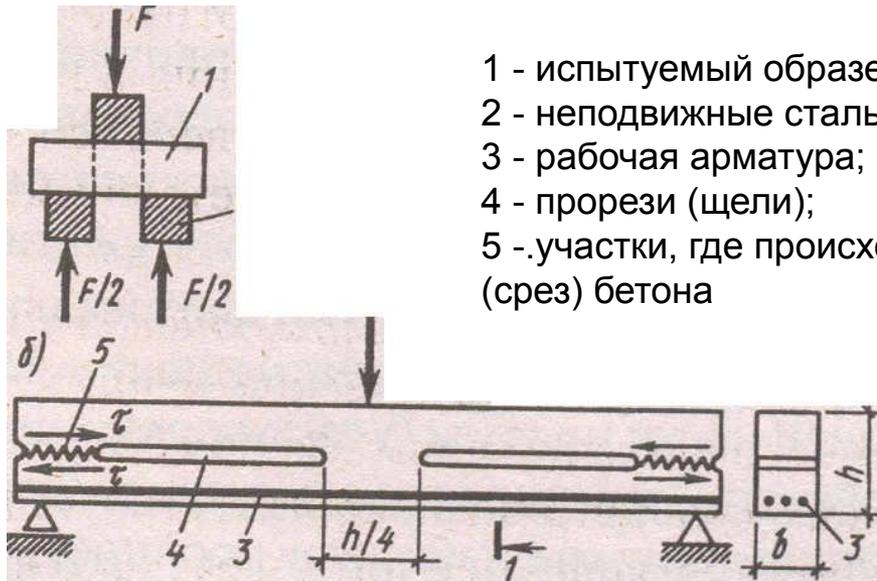
$$R_{bt} = 0.1R_b \dots 0.05R_b$$

Прочность при срезе (скалывании)

$$R_{sh}$$

Под чистым срезом понимают разделение элемента на части по сечению, к которому приложены перерезывающие силы.

Под чистым скалыванием понимают взаимное смещение (сдвиг) частей элемента между собой под действием скалывающих (сдвигающих) усилий.



- 1 - испытуемый образец;
- 2 - неподвижные стальные опоры;
- 3 - рабочая арматура;
- 4 - прорези (щели);
- 5 - участки, где происходит скалывание (срез) бетона

$$R_{sh} = F / A$$

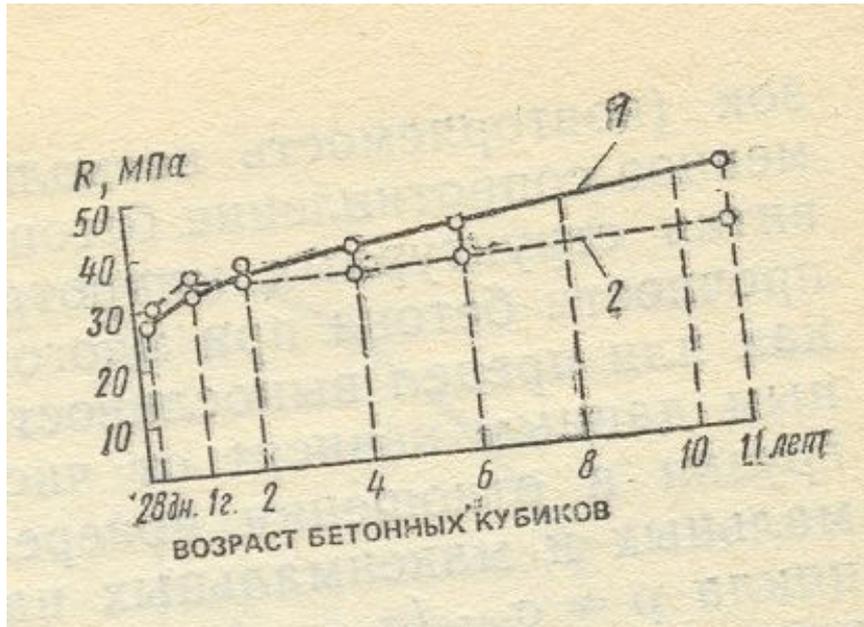
В нормах СНиП

$$R_{sh} = 2R_{bt}$$

Прочность при длительном действии нагрузки

$$R_{bl}$$

Пределом длительного сопротивления бетона называют наибольшие статические неизменные во времени напряжения, которые он может выдерживать неограниченно долгое время без разрушения.



Наращение прочности бетона во времени

- 1- при хранении бетона во влажной среде;
- 2- то же в сухой среде

Проф. Б.Г. Скрамтаев предложил

$$R_t = \frac{R \lg t}{\lg 28} = 0,7 \lg t$$

где t – время в сутках.

В нормах СНиП 2.03.01-86*

$$R_{bl} \approx 0,9 R_b$$

4. Классы и марки бетона

Классы бетона

```
graph TD; A[Классы бетона] --> B[По прочности на осевое сжатие В]; A --> C[По прочности на осевое растяжение Вt];
```

По прочности на осевое
сжатие **B**

Под классом бетона «B» по прочности на осевое сжатие понимают среднестатистическое значение временного сопротивления сжатию в МПа эталонных образцов, изготовленных и испытанных через 28 суток хранения при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в соответствии с государственным стандартом с обеспеченностью 0,95.

По прочности на осевое
растяжение **B_t**

Под классом бетона «B_t» по прочности на осевое растяжение понимают среднестатистическое значение временного сопротивления растяжению в МПа эталонных образцов, испытанных через 28 суток хранения при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в соответствии с государственным стандартом с обеспеченностью 0,95.

Бетон		Классы по прочности на сжатие	
Тяжелый бетон		B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70; B80; B90; B100	
Напрягающий бетон		B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B70	
Мелкозернистый бетон групп:			
А – естественного твердения или подвергнутый тепловой обработке при атмосферном давлении		B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40	
Б – подвергнутый автоклавной обработке		B15; B20; B25; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60	
Легкий бетон марок по средней плотности:			
D800, D900		B2,5; B3,5; B5; B7,5	
D1000, D1100		B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5	
D1200, D1300		B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20	
D1400, D1500		B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30	
D1600, D1700		B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40	
D1800, D1900		B15; B20; B25; B30; B35; B40	
D2000		B25; B30; B35; B40	
Ячеистый бетон при марках по средней плотности:		Автоклавный	Неавтоклавный
D500		B1,5; B2; B2,5	–
D600		B1,5; B2; B2,5; B3,5	B1,5; B2
D700		B2; B2,5; B3,5; B5	B1,5; B2; B2,5
D800		B2,5; B3,5; B5; B7,5	B2; B2,5; B3,5
D900		B3,5; B5; B7,5; B10	B2,5; B3,5; B5
D1000		B7,5; B10; B12,5	B5; B7,5
D1100		B10; B12,5; B15; B17,5	B7,5; B10
D1200		B12,5; B15; B17,5; B20	B10; B12,5
Поризованный бетон при марках по средней плотности:			
D800, D900, D1000		B2,5; B3,5; B5	
D1100, D1200, D1300		B7,5	
D1400		B3,5; B5; B7,5	

Примечание – В настоящем своде правил термины «легкий бетон» и «поризованный бетон» используются соответственно для обозначения легкого бетона плотной структуры и легкого бетона поризованной структуры (со степенью поризации свыше 6 %).

Классы бетона по прочности на осевое растяжение

Бетон	Класс прочности на осевое растяжение
Тяжелый, напрягающий, мелкозернистый бетоны	B _{0,8} ; B _{1,2} ; B _{1,6} ; B _{2,0} ; B _{2,4} ; B _{2,8} ; B _{3,2} ; B _{3,6} ; B _{4,0}
Легкий бетон	B _{0,8} ; B _{1,2} ; B _{1,6} ; B _{2,0} ; B _{2,4} ; B _{2,8} ; B _{3,2}

Среднее значение временного сопротивления бетона сжатию, установленное при испытании партии стандартных образцов, определяют по зависимости

$$R_m = \frac{n_1 \times R_1 + n_2 \times R_2 + \dots + n_k \times R_k}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Где n_1, n_2, \dots, n_k – число случаев, в которых было установлено временное сопротивление соответственно R_1, R_2, \dots, R_k

$\sum_{i=1}^k n_i$ – общее число испытаний в партии

Среднее квадратичное отклонение прочности бетона – это величина, характеризующая разброс прочности экспериментальных значений.

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (R_i - R_m)^2}{n - 1}}$$

Коэффициент вариации прочности бетона – это отношение среднего квадратичного отклонения прочности бетона к среднему значению временного сопротивления бетона сжатию.

$$v_m = \frac{\sigma_m}{R_m}$$

Опытные исследования для тяжёлых, мелкозернистых и легких бетонов показали, что коэффициент вариации прочности бетона при сжатии $v_m = 0,135$

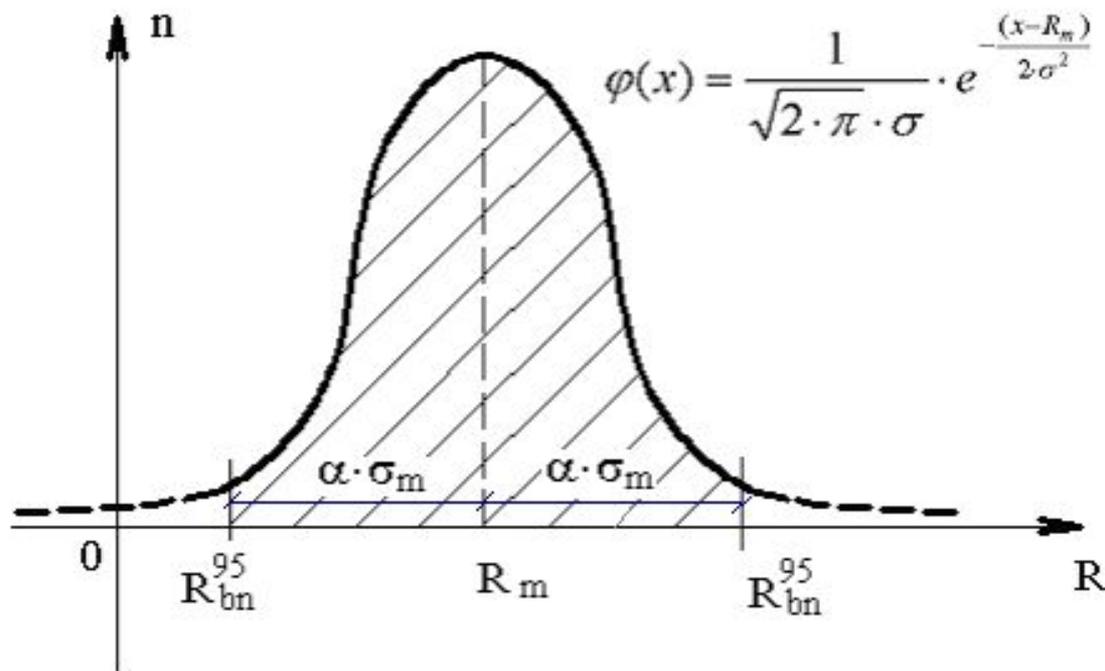
При показателе надежности $\alpha = 1,64$

, который характерен для обеспеченности 95% прочностных свойств (правило «двух сигм»), класс бетона по прочности на сжатии определяют по формуле (2.7):

$$B = R_m - \alpha \times \sigma_m \quad \text{или} \quad B = R_m \times (1 - \alpha \times v_m)$$

Таким образом, гарантированная прочность заданного нормами класса бетона на сжатие равна:

$$B = R_m \times (1 - 1,64 \times 0,135) = 0,78 \times R_m$$



Кривая распределения прочности

Марки бетона

по
водонепроницаемости
W

*способность
материала не
пропускать воду*

W2 ...W12

*Число
характеризует
давление воды в
кг/см², при котором
еще не наблюдается
ее просачивания
через испытываемый
образец. Испытания
выполняют на
образцах из бетона
диаметром и
высотой 150 мм.*

по
самонапряжению
Sp

*устанавливаютс
я для бетона на
напрягающем
цементе*

Sp 0,6...Sp 4

*Число
характеризует
величину
предварительного
напряжения в
бетоне (МПа) на
уровне оси,
проходящей через
центр тяжести
арматуры.*

по
морозостойкости
F

*способность
материала в
увлажненном
состоянии
сопротивляться
разрушающему
воздействию
попеременного
замораживания и
оттаивания.*

F25 ... F500

*Число характеризует
количество
выдерживаемых циклов
попеременного
замораживания и
оттаивания в насыщенном
водой состоянии, при
котором прочность бетона
снижается не более чем
на 15% или не
наблюдается видимых его
разрушений*

по
Средней плотности
D

*Марку по средней
плотности принимают
для конструкций, к
которым предъявляют
требования
теплоизоляции.*

D500 ... D2000

*Число соответствует
среднему значению
объемной массы бетона
(кг/м³)*

Т а б л и ц а 6.4 – Марки бетона водонепроницаемости

Бетон	Марки по водонепроницаемости
Тяжелый, мелкозернистый бетоны	W2; W4; W6; W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20
Легкий бетон	W2; W4; W6; W8; W10; W12

Примечание – Для напрягающего бетона марка по водонепроницаемости обеспечивается не ниже W12 и в проектах может не указываться.

Т а б л и ц а 6.6 – Марки бетона по самоупрочению

Бетон	Марки по самоупрочению
Напрягающий бетон	$S_{p0,6}$; $S_{p0,8}$; S_{p1} ; $S_{p1,2}$; $S_{p1,5}$; S_{p2} ; S_{p3} ; S_{p4} .

Т а б л и ц а 6.3 – Марки бетона по морозостойкости

Бетон	Марки по морозостойкости
Тяжелый, напрягающий и мелкозернистый бетоны	F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; F600; F700; F800; F1000
Легкий бетон	F25; F35; F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500
Ячеистый и поризованный бетоны	F15; F25; F35; F50; F75; F100

Т а б л и ц а 6.5 – Марки бетона по средней плотности

Бетон	Марки по средней плотности
Легкий бетон	D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400; D1500; D1600; D1700; D1800; D1900; D2000
Ячеистый бетон	D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200
Поризованный бетон	D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400