



# **РАЗДЕЛ № 11. ТЯЖЕЛЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ**

## **Лекция №18**

### **Тема № 31. Основные физико-механические и специальные свойства бетона.**

Время: 2 ч.

#### **Вопросы:**

- 1. Контроль прочности бетона. Нормируемые характеристики прочности.**
- 2. Деформативные свойства, плотность, водонепроницаемость и морозостойкость бетона.**
- 3. Защитные свойства бетона.**

**Литература: 1. Учебник с. 117...120; 135...143, 147...152**

# КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА.

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

по воздействию на структуру материала

по степени гарантирования качества

Разрушающие

Неразрушающие

Статистические

Нестатистич.

Испытания образцов статической нагрузкой по

То же высверленных или вырубленных из изделия.

Выборочные испытания готовых изделий и конструкций.

По косвенным характеристикам физических свойств бетона.

По косвенным характеристикам механических свойств бетона.

Основан на испытаниях не менее чем 30 серий образцов, что позволяет гарантировать прочность бетона с учетом ее фактической однородности за анализируемый период контроля.

Основан на испытании одной или нескольких серий контрольных образцов.

Основан на испытании единичных изделий и конструкций.

**В настоящее время основным и обязательным является статистический контроль прочности бетона.**

**Статистический контроль основан на достаточно большом количестве испытаний и позволяет гарантировать прочность бетона с учетом ее фактической однородности в партиях, выпущенных за анализируемый период (интервал времени от одной недели до двух месяцев).**

**Приемка бетона путем сравнения его фактической прочности с нормируемой без учета характеристик однородности прочности не допускается ГОСТ.**

**К неунифицированным характеристикам прочности бетона при статистическом контроле относятся:**

- **средняя (фактическая) прочность партии  $R_{m,j}$ .**
- **требуемая прочность  $R_d$ .**
- **средний уровень прочности  $R_{mu}$ .**

**Требуемая прочность** (отпускная, передаточная, в промежуточном и проектном возрасте) вычисляется по формуле

$$R_d = k_d B_n$$

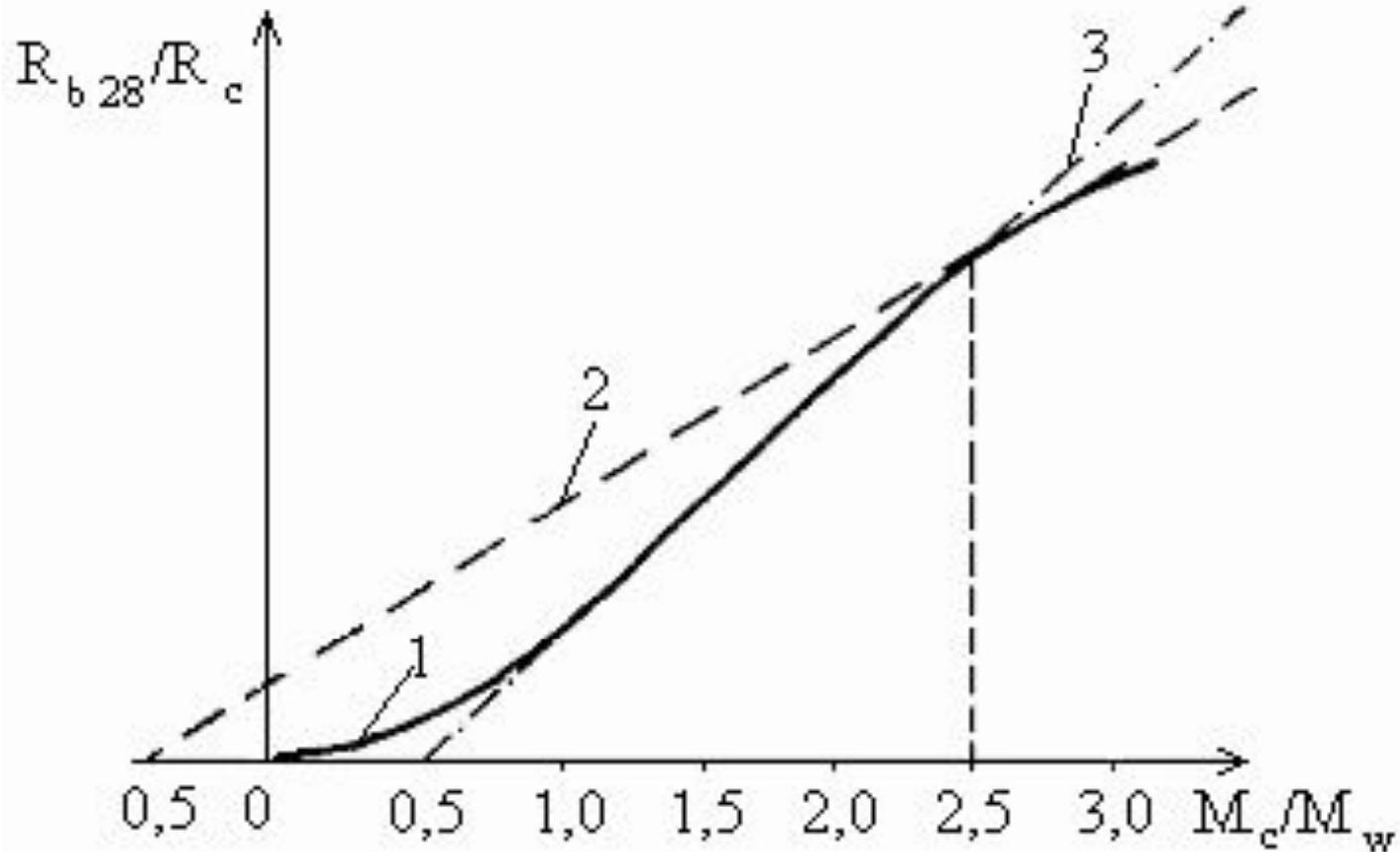
где:  $B_n$  - нормируемое значение соответствующей прочности бетона (в проектном возрасте - класс бетона по прочности);  
 $k_d$  - коэффициент требуемой прочности, определяемый как функция фактического коэффициента вариации прочности,  
 $k_d = f(k_v)$ .

**Средний уровень прочности** вычисляют по формуле

$$R_{mu} = k_{mu} R_d$$

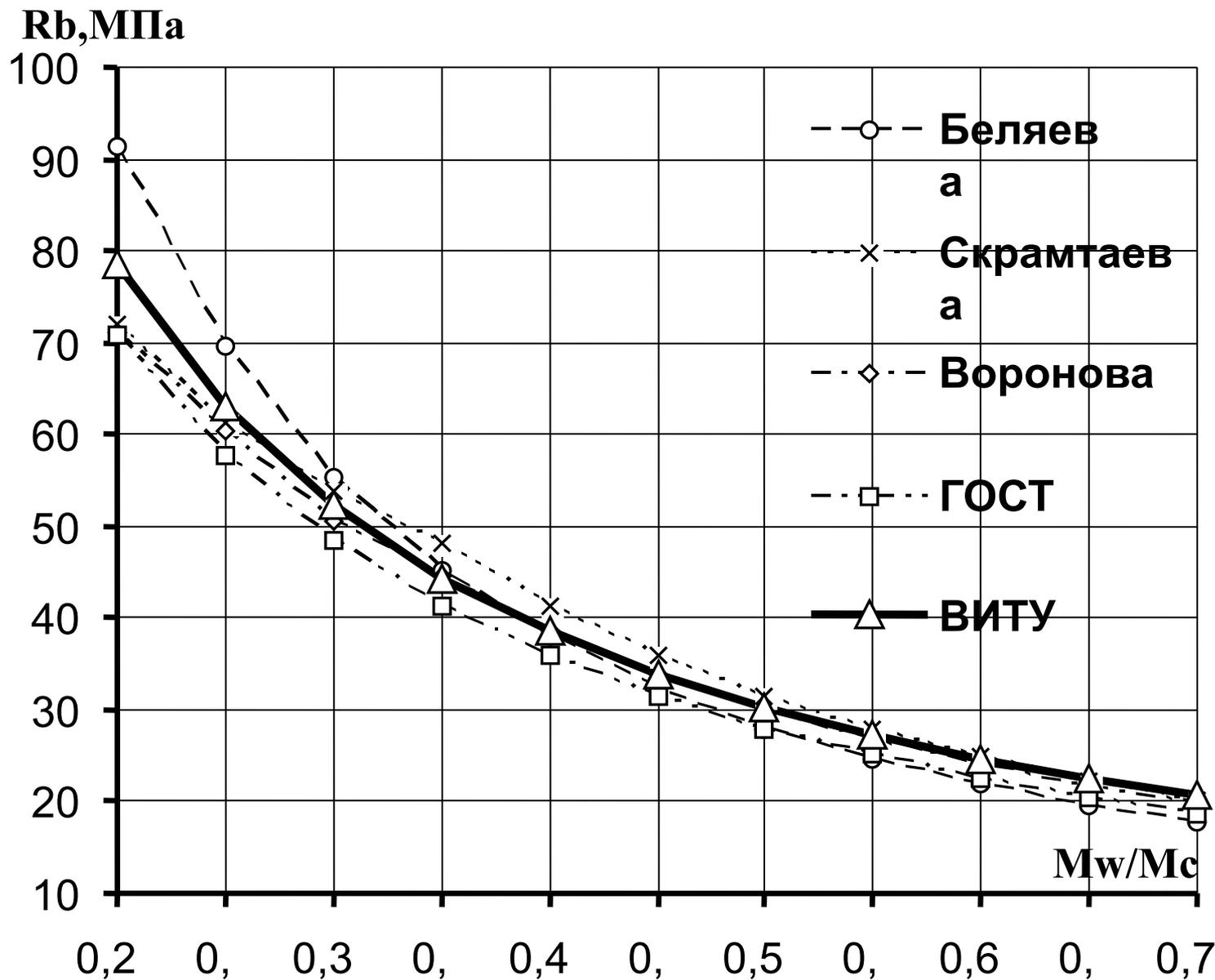
где:  $k_{mu}$  - коэффициент среднего уровня прочности, определяемый как функция коэффициента вариации прочности,  
 $k_{mu} = f(k_v)$ .

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ.



**Зависимость “Скрамтаева - Болomeя” прочности бетона от цементно-водного отношения и характер ее аппроксимации:**

- 1 – график  $R_{b28}/R_c = f(M_c/M_w)$ ;
- 2 – прямая  $R_{b28}/R_c = k_2(M_c/M_w + 0,5)$ ;
- 3 – прямая  $R_{b28}/R_c = k_1(M_c/M_w - 0,5)$ .



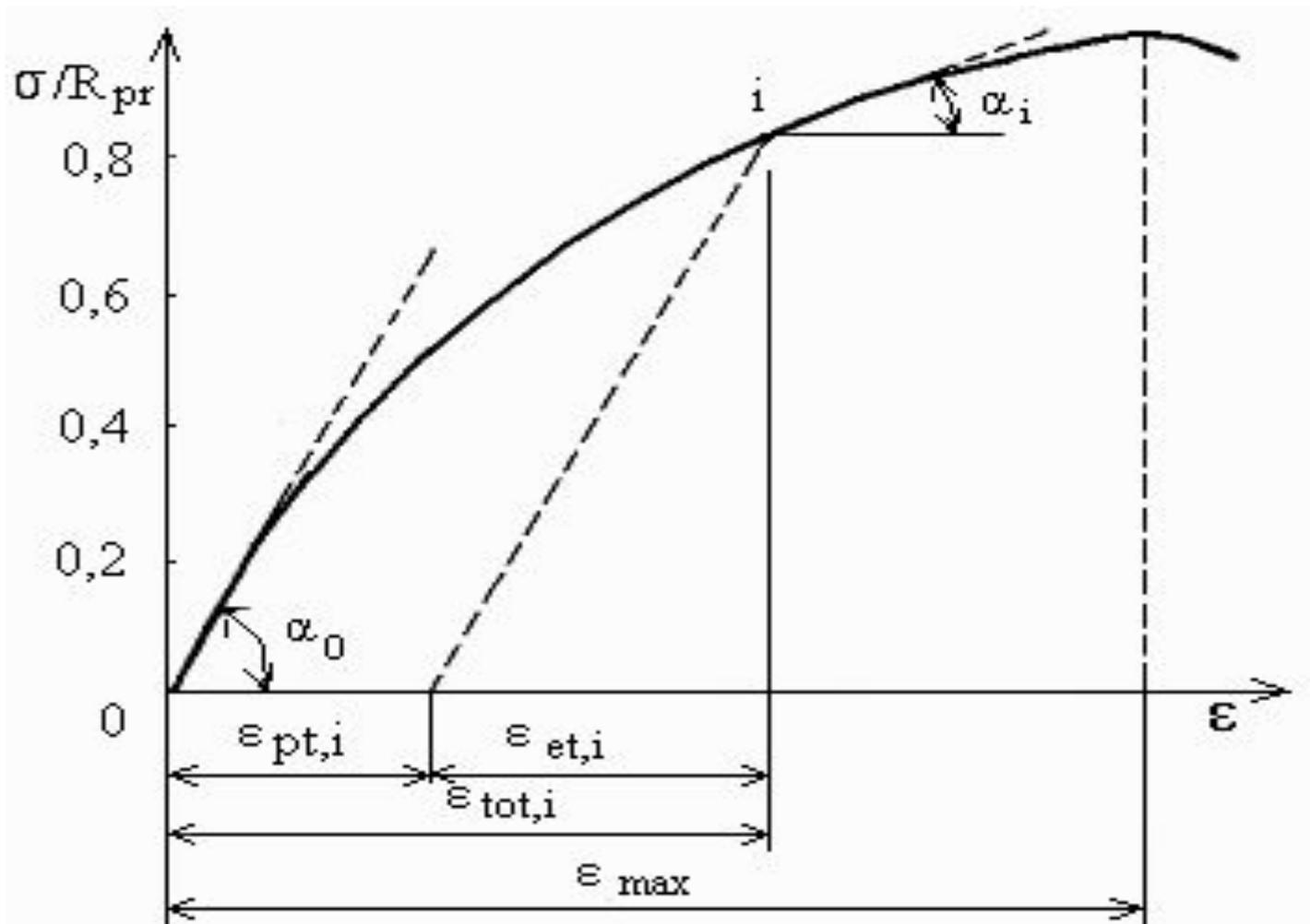
**Зависимость прочности бетона от водо-цементного отношения.**

**Деформативные свойства бетона** - заключаются в способности изменять свою форму и размеры.

**Величина и характер деформации существенно влияют на несущую и защитную способность, долговечность и внешний вид бетонных и железобетонных конструкций.**

<b>Виды деформаций</b>	<b>силовые</b>	<b>возникают под действием внешних нагрузок</b>
	<b>усадочные</b>	<b>являются результатом физико-химических процессов, протекающих внутри бетона</b>
	<b>температурные</b>	<b>происходят при изменении температуры бетона</b>

Под нагрузкой бетон ведет себя как **вязкоупругопластичное тело**.



**Диаграмма  $\sigma - \epsilon$  бетона:**

$R_{pr}$  – призмочная прочность;  $\epsilon_{tot}$  – полная относительная деформация;  $\epsilon_{el}$  – то же упругая;  $\epsilon_{pl}$  – то же пластическая.

Упругие свойства бетона характеризуют **модулем упругости  $E_b$** , который определяется по условию

$$E_b = E_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 = 0,3 R_{pr} / \varepsilon_{0,3 R_{pr}}.$$

**Силовые деформации:**

**Ползучесть** - пластические деформации бетона, увеличивающиеся во времени, даже если нагрузка остается постоянной.

**Полная относительная деформация бетона** - с учетом ползучести находят по формуле

$$\varepsilon_b = \sigma_t \left( E_b^{-1} + C_t \right)$$

где: мера ползучести  $C_t = \varepsilon_{pl,t} / \sigma$ .

## **Усадочные деформации**

**- проявляются как изменение его объема вследствие изменения влажности и физико-химических процессов твердения цемента.**

**В зависимости от факторов, их вызывающих, различают влажностную, карбонизационную и контракционную усадки.**

**Полная деформация усадки определяется, как сумма этих составляющих.**

**Температурные деформации обуславливаются нагревом бетона, вызываемым различными причинами, и в том числе экзотермией цемента.**

**Свободные температурные деформации бетона можно вычислить по формуле**

$$\varepsilon_t = \alpha_b \Delta T$$

**где:  $\Delta T$  — изменение температуры бетона, К;  $\alpha_b$  — температурный коэффициент линейного расширения бетона, изменяющийся в пределах  $(0,7...1,5) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .**

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА:

- плотность, пористость, водонепроницаемость, морозостойкость и теплопроводность.

**Плотность  $\rho_b$**  - по средневзвешенной плотности компонентов, изменяющейся в пределах (2,6...2,7 г/см<sup>3</sup>), в среднем составляет 2,65 г/см<sup>3</sup>.

**Средняя плотность  $\rho_{m,b}$**  - изменяется в пределах от 250 до 6000 кг/м<sup>3</sup> и главным образом зависит от состава и структуры бетона.

Для тяжелого бетона установлены значения  $\rho_{m,b}$ : свыше 2200 и до 2500 кг/м<sup>3</sup>.

**Относительная плотность  $\rho_{rel}$**  бетона характеризует степень заполнения его объема  $V_b$  твердой фазой  $V_{sf}$ :

$$\rho_{rel} = V_{sf} / V_b = \rho_{m,b} / \rho_b$$

**Пористость**  $n_b$  для тяжелого бетона она может быть приближенно вычислена в процентах:

$$n_b = M_w - \beta M_c + V_a$$

где:  $M_w$  и  $M_c$  - расходы воды и цемента, т/м<sup>3</sup>;

$\beta$  - коэффициент, учитывающий количество химически связанной воды (при полной гидратации цемента  $\beta = 0,22...0,28$ );

$V_a$  - количество вовлеченного воздуха, м<sup>3</sup>.

**Водонепроницаемость** - зависит от его плотности и структуры: бетоны высокой плотности с замкнутой мелкопористой структурой практически водонепроницаемы.

Марки бетона по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W16, W18 и W20. Числовой индекс марки обозначает давление воды (кгс/см<sup>2</sup>), при котором образцы-цилиндры высотой 15 см не пропускают воду в условиях стандартного испытания.

**Для количественной оценки водонепроницаемости бетона используется другой показатель - коэффициент фильтрации воды  $k$ .**

**Морозостойкость** - зависит от морозостойкости компонентов бетона, структуры его порового пространства и насыщения водой.

**Марки бетона по морозостойкости: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000. Числовой индекс марки обозначает количество циклов попеременного замораживания, которое выдерживает серия стандартных образцов кубов ( $n = 6$ ) при испытании.**

## **КОРРОЗИЯ БЕТОНА**

**- процесс разрушения бетона под воздействием внешней агрессивной к бетону среды.**

**Агрессивная среда** может быть газообразной, жидкой и твердой.

## ВИДЫ КОРРОЗИИ БЕТОНА

<b>выщелачивающая</b>	<b>кислотно-солевая</b>	<b>сульфатная</b>
<p>закljučается в раствoрени и вымывани гидроксида кальция, содержащегося в цементном камне бетона; возникает под действием мягких (неминерализованных или слабoминерализованных) вод, компоненты бетона растворяются и уносятся водой</p>	<p>относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>углекислая коррозия</b>  <math display="block">\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2;</math></li> <li>- <b>общекислотная коррозия</b>  <math display="block">\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O};</math> <math display="block">\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O};</math></li> <li>- <b>магнезиальная коррозия</b>  <math display="block">\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgCl}_2 = \text{CaCl}_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2 \text{ или}</math> <math display="block">\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Mg}(\text{OH})_2</math></li> </ul>	<p>по реакции</p> $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaSO}_4 + 25\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O},$ <p>в результате в порах бетона происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции со значительным увеличением объема твердой фазы – камень растрескивается</p>

## **Классификация сред по степени агрессивного воздействия на бетон**

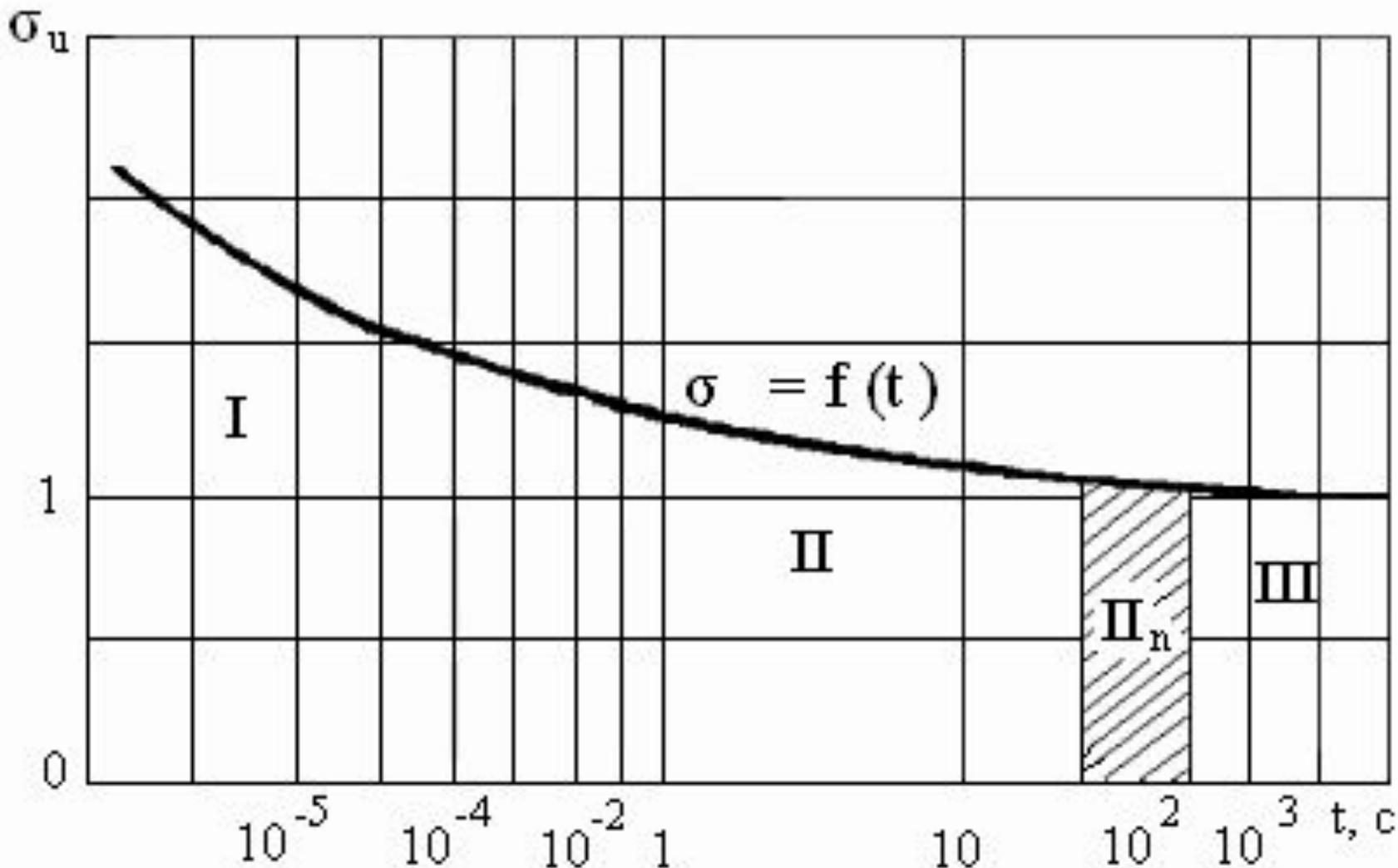
<b>Вид среды</b>	<b>Показатели степени агрессивности среды к бетону</b>	
	<b>Снижение прочности за один год воздействия среды, %</b>	<b>Внешние признаки коррозии после одного года воздействия среды</b>
<b>Неагрессивная</b>	<b>0</b>	<b>Отсутствуют</b>
<b>Слабоагрессивная</b>	<b>Менее 5</b>	<b>Слабое поверхностное разрушение</b>
<b>Среднеагрессивная</b>	<b>5...20</b>	<b>Повреждение углов или волосные трещины</b>
<b>Сильноагрессивная</b>	<b>Более 20</b>	<b>Ярко выраженные разрушения (сильное растрескивание и пр.)</b>

## **ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА**

**Бетон является одним из основных конструктивных материалов войсковых и специальных сооружений, обеспечивающих защиту личного состава и боевой техники от воздействия современных средств поражения**

**Динамическая прочность бетона - проявляется при кратковременных или быстрых нагружениях, вызванных воздействием современных ядерных или обычных средств поражения, а также другими причинами: землетрясениями, технологическими процессами с быстродействующей техникой, движением боевых машин или транспорта.**

**В условиях динамического нагружения он имеет коэффициент динамического упрочнения  $k_{ds}$  больше единицы.**



*Зависимость напряжений в материале от времени нагружения  $\sigma$  -  $t$  :*

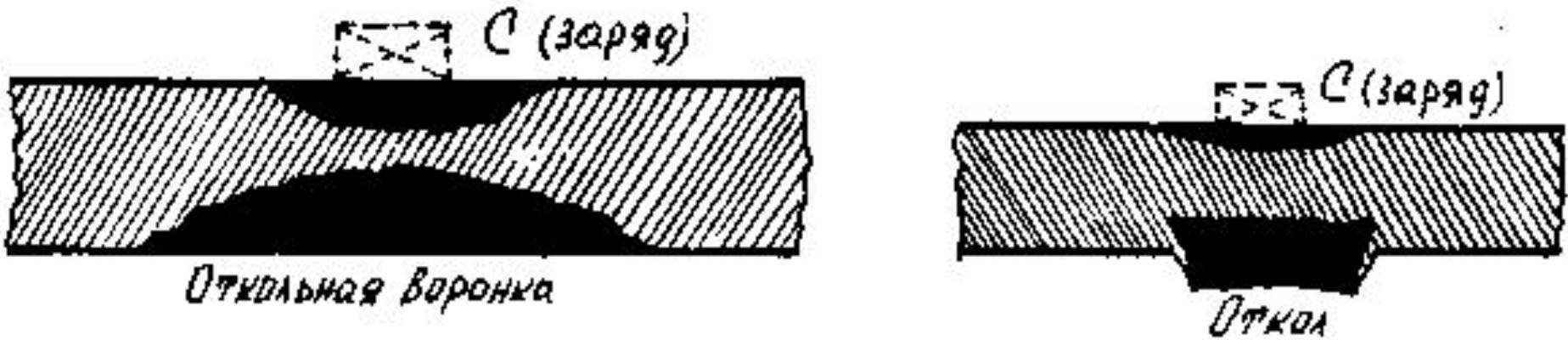
*I - область динамической прочности; II - область статической прочности; II<sub>n</sub> - зона стандартной прочности; III - область длительной прочности.*

**Значения коэффициента динамического упрочнения  $k_{ds}$  для различных бетонов при  $t_{dyn} = 0,01$  с.**

<b>Вид бетона, особенности его состава, технологии и состояния</b>	<b><math>k_{ds}</math></b>
<b>Обычный бетон В25</b>	<b>1,29</b>
<b>Высокопрочный бетон В50</b>	<b>1,28</b>
<b>Мелкозернистый бетон</b>	<b>1,3</b>
<b>Бетон на мелком песке</b>	<b>1,27</b>
<b>Пропаренный бетон</b>	<b>1,28</b>
<b>Бетон после многократного замораживания и оттаивания</b>	<b>1,03</b>
<b>Бетон с добавкой ЛСТ</b>	<b>1,31</b>
<b>Бетон после нагрева до 500 °С</b>	<b>1,01</b>
<b>Водонасыщенный бетон</b>	<b>1,45</b>
<b>Сухой бетон</b>	<b>1,15</b>

**Взрывостойкость** бетона является одной из разновидностей динамического сопротивления.

От взрыва в бетоне, как и в других материалах, в зоне сжатия образуется **взрывная воронка**, а в зоне растяжения - **откольная**.



**Характер взрывного разрушения в материалах:**  
1 - в бетонах; 2 - в сталях.

Характеризуют **коэффициенты сопротивления взрыву**  $k_{\text{exp}}$  и **отколу**  $k_{\text{ch}}$ . Для тяжелого цементного бетона В25  $k_{\text{exp}} = 0,15$  и  $k_{\text{ch}} = 0,45$ , а для армированной сталью (в железобетонных конструкциях)  $k_{\text{exp}} = 0,1$  и  $k_{\text{ch}} = 0,35$ .

## **Соппротивление бетона прониканию при ударе**

характеризуется **коэффициентом сопротивляемости прониканию при ударе**  $k_{pv}$ ,

Для тяжелого цементного бетона В25  $k_{pv} = 13 \cdot 10^{-6}$ , а для армированного сталью  $k_{pv} = 8 \cdot 10^{-7}$ . Соппротивление бетона прониканию при ударе тем выше, чем ниже значение этого коэффициента.

## **Газонепроницаемость**

Характеризуется **коэффициентом проницаемости бетона**,  $m^2$  :

$$k_p = dV\eta p / (At \Delta p p_m)$$

где:  $V$  — объем газа, прошедшего через образец бетона (эксфилтратата),  $m^3$ ;  $\eta$  — динамическая вязкость эксфилтратата,  $Pa \cdot s$ ;  $A$  — площадь филтратции газа,  $m^2$ ;  $t$  - время филтратции газа,  $s$ ;  $\Delta p$  — перепад давления между противоположными поверхностями филтратции,  $Pa$ .

# Стойкость бетона к тепловому удару

## Радиационная непроницаемость

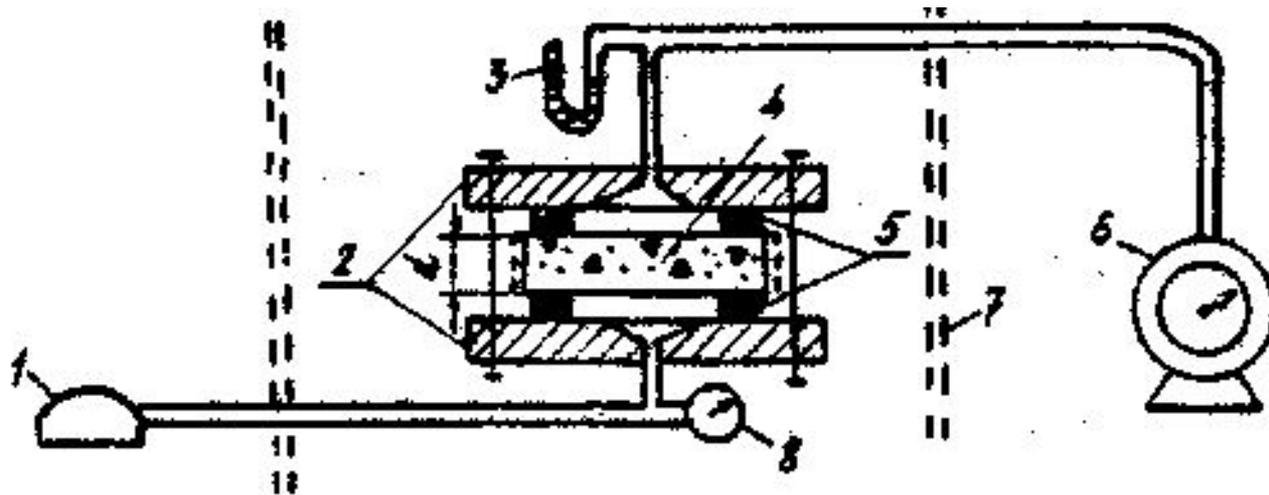


Схема измерения газопроницаемости:

1 - источник давления газа; 2 - плиты металлической обоймы; 3 - микроманометр; 4 - образец бетона; 5 - прокладки уплотнителя; 6

09/12/202: - газовый счетчик; 7 - защитный экран; 8 - манометр