

# Причины возникновения дефектов в КОНСТРУКЦИЯХ

Факторы физического износа

Ошибки в процессе проектирования

Некачественные материалы

Воздействие окружающей среды

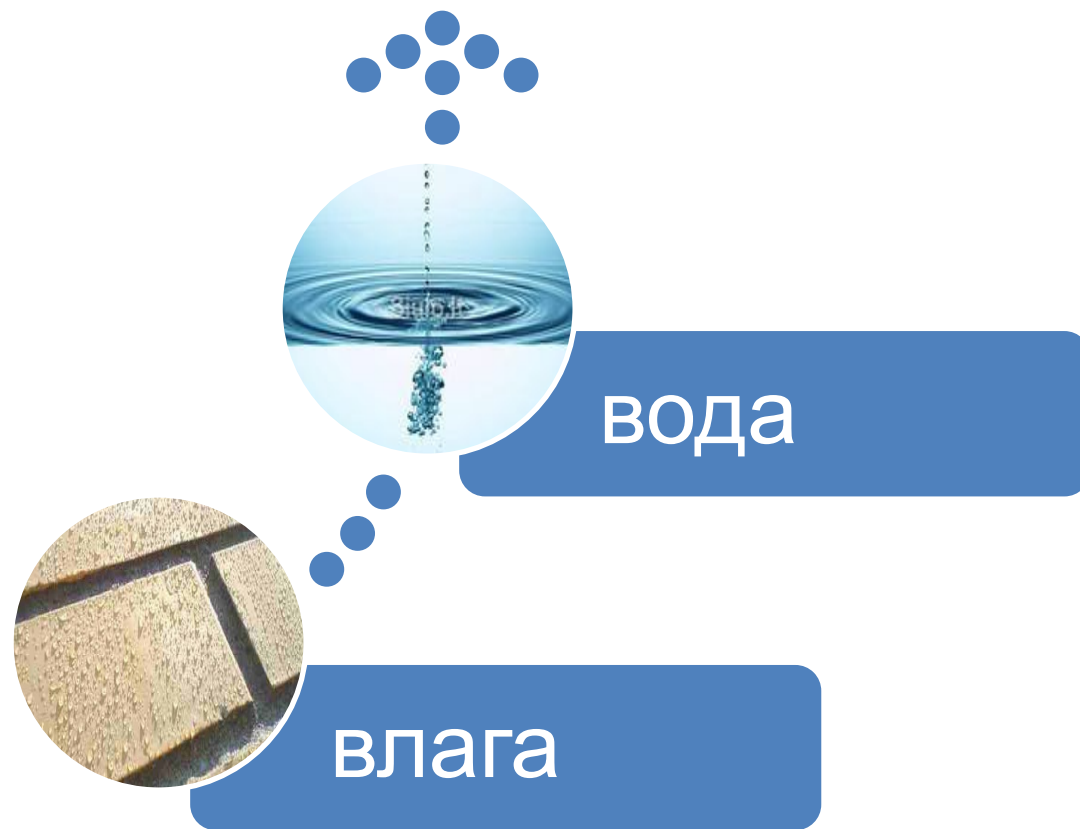
Изменение условий эксплуатации

Некачественное выполнение ремонтных работ

Форс-мажор

Совокупность факторов

# Процесс накопления повреждений активизируется при наличии:





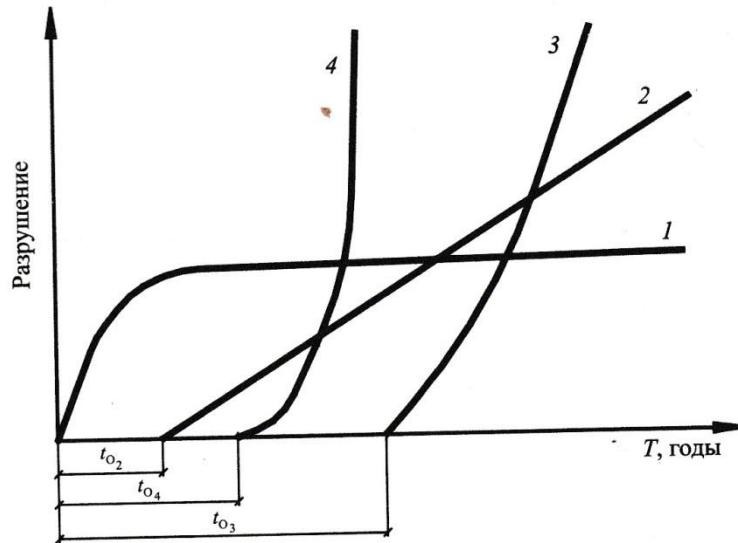
## Воздействия окружающей среды

Карбонизация

Замораживание  
и  
оттаивание

Хлориды  
Сульфаты

Реакция между  
щелочным  
составляющим  
и  
заполнителем



**Рис. 1. Упрощенный механизм разрушения бетонных конструкций:**  
 1 — карбонизация; 2 — воздействие замораживания/оттаивания; 3 — коррозия арматуры под воздействием хлоридов; 4 — воздействие сульфатов и реакция между щелочными составляющими цемента с кремнеземом заполнителя в бетоне;  $t_{O_2}$ ,  $t_{O_3}$ ,  $t_{O_4}$  — периоды ожидания

Математически эти процессы можно выразить следующим образом:

$$1 — d = kt^{1/2};$$

$$2 — d = t_{O_2} + kt;$$

$$3 — d = t_{O_3} + kt^a,$$

Следует отметить, что в природе процесс происходит под действием нескольких совместно происходящих воздействий

Серьезные деформации

Появление  
значительного  
объема  
трещин

Изменение  
внешнего  
вида

Требуется кап.  
ремонт

# Дефекты конструкций, получаемые при укладке и твердении бетона

Пористость в бетоне и ее характер играют серьезную роль в его долговечности.

При замерах чаще всего классифицируют открытую пористость = поглощение воды при  $t=20^{\circ}\text{C}$

## Поры в бетоне

Гелевые от  $\leq 0,5$  до 10 нм

Капиллярные  
От 10 нм до 10 мкм

Воздушные, включая  
макропоры  
от 0,01 до 0,2 мкм

# По показателю открытой пористости/общей пористости бетоны делят на три группы


**Зависимость качества бетона от характеристики открытой пористости**

Качество бетона	Открытая пористость бетона	Показатель открытой пористости, %
Хорошее	Низкая	< 4
Среднее	Средняя	4—6
Плохое	Большая	> 6

*Таблица 2*

**Зависимость качества бетона от его общей пористости**

Качество бетона	Пористость бетона	Общая пористость, %
Хорошее	Низкая	< 10
Среднее	Средняя	10—15
Плохое	Большая	> 15



Состояние  
поровой  
структуры  
бетона

Вид цемента

Возраст  
цементного  
камня

Условия  
твердения

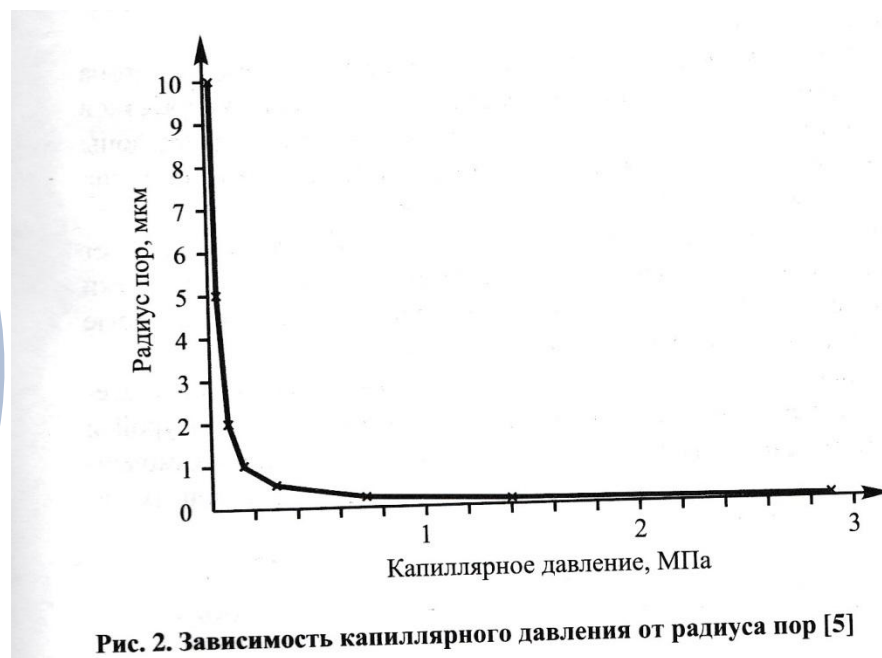
Добавки

В/Ц

Степень  
гидратации



# Основные факторы, определяющие проницаемость бетона



# Сорбционная способность- показатель качества

- Сорбция-способность материала поглощать вещества из окружающей среды тесно связанная со структурой и объемом пор в бетоне.

**Зависимость качества бетона от его сорбционной способности**

Качество бетона	Сорбционная способность, мм/мин <sup>1/2</sup>	Подъем воды по высоте через 4 ч, мм
Хорошее	< 0,1	< 10
Среднее	0,1—0,2	10—20
Плохое	> 0,2	> 20

# Адсорбционная способность

- Адсорбция-способность поверхностного слоя материала поглощать влагу из окружающей среды

Качество бетона	Адсорбция	Тест на адсорбцию (ISAT), мл/м <sup>2</sup> /с, во времени				2 ч кумулятивной адсорбции, мл/м <sup>2</sup>
		10 мин	30 мин	1 ч	2 ч	
Хорошее	Хорошая	< 0,25	< 0,17	< 0,10	< 0,07	< 1000
Среднее	Средняя	0,25– 0,50	0,17– 0,35	0,10– 0,20	0,07– 0,15	1000– 2000
Плохое	Плохая	> 0,50	> 0,35	> 0,20	> 0,15	> 2000

# Основной показатель плотности бетона- водонепроницаемость

- СП 28.13330.2012 характеризует водонепроницаемость бетона прямыми и косвенными показателями

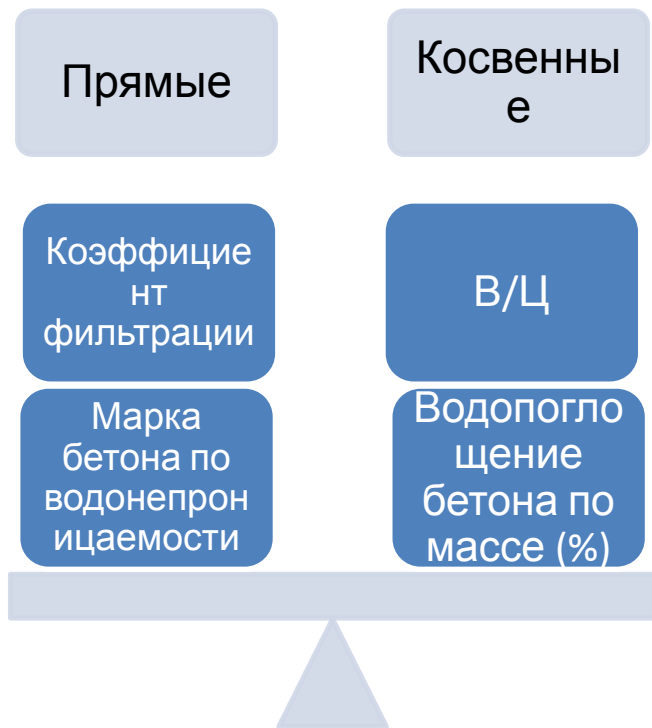


Таблица 5

Кoeffицие нт фильтрации $K_f$ , см/с (ГОСТ 12730.5—84)	Марка бетона по водонепроницаемости («мокрое пятно»)
Более $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-8}$	W2
Более $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-8}$	W4
Более $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	W6
Более $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$	W8
Более $6 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$	W10
$6 \cdot 10^{-11}$ и менее	W12

# Коэффициент фильтрации

$$K_f = \frac{d^2 v}{2th}, \quad (1)$$

где  $h$  — высота столба воды;  $v$  — объемная доля пустот, заполняемых водой при проведении измерения;  $t$  — время проникновения воды на глубину  $d$ .

$$K_f = \frac{dM}{2th}. \quad (2)$$

При проведении испытаний на измерение объема профильтровавшей через образец воды коэффициент  $K_f$  (см/с) определяется по формуле

$$K_f = \frac{Q\mu L}{A(P_1 - P_2)}, \quad (3)$$

где  $Q$  — объемная скорость течения;  $L$  — длина образца;  $A$  — площадь поперечного сечения;  $P_1, P_2$  — давление над и под образцом;  $\mu$  — вязкость воды.

Аналогичное решение по определению коэффициента фильтрации  $K_f$  (см/с) отдельного образца принимается по ГОСТ 12730.5—84:

$$K_f = \frac{\eta Q \delta}{S \tau p}, \quad (4)$$

где  $Q$  — масса фильтрата, Н;  $\delta$  — толщина образца, см;  $S$  — площадь образца, см<sup>2</sup>;  $\tau$  — время испытания образца, в течение которого измеряют массу фильтрата, с;  $p$  — избыточное давление, МПа;  $\eta$  — коэффициент вязкости воды при различной температуре, принимается  $\eta = 1,0$  при 20 °С. Коэффициент уменьшается с увеличением температуры и увеличивается с ее

# Определение

## ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ

- Тест Карстона



- Метод Р. Торрента

Зависимость качества бетона от его газопроницаемости  
(по Р. Торренту)

Качество бетона	Газопроницаемость	Газопроницаемость, м/с
Хорошее	Низкая	$< 2 \cdot 10^{-18}$
Среднее	Средняя	$2 \cdot 10^{-18} - 2 \cdot 10^{-17}$
Плохое	Высокая	$> 2 \cdot 10^{-17}$

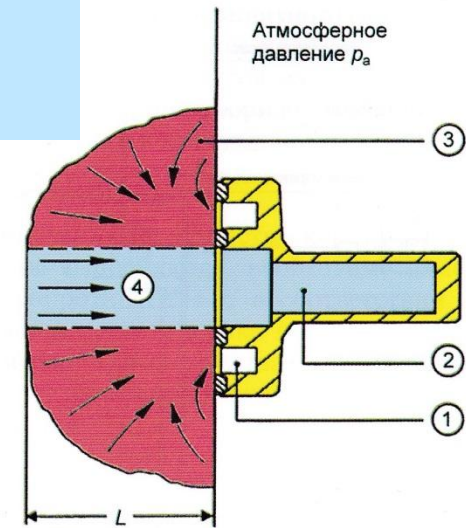


Рис. 3. Двухкамерный вакуумный элемент:  
1 — внутренняя камера, давление  $p_i$ ; 2 — внешняя камера, давление  $p_o$  ( $p_o = p_i$ );  
3 — воздушный поток во внешнюю камеру; 4 — воздушный поток во внутреннюю камеру;  $L$  — глубина образования вакуума, мм

# Важный показатель качества бетона – стойкость к диффузии ионов хлора

- Коэффициент диффузии хлоридов меняется при его твердении и наборе прочности. Чем выше прочность и дольше время твердения при нормальном влажностном режиме, тем меньше коэффициент

Зависимость качества бетона от коэффициента диффузии хлоридов

Качество бетона	Проницаемость	Коэффициент диффузии хлоридов, м <sup>2</sup> /с
Хорошее	Низкая	$< 1 \cdot 10^{-12}$
Среднее	Средняя	$1 \cdot 10^{-12} — 5 \cdot 10^{-12}$
Плохое	Высокая	$> 5 \cdot 10^{-12}$

Таблица 10

Зависимость коэффициента диффузии хлоридов от прочности и времени твердения бетона [8]

Время твердения бетона, сут.	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент диффузии хлоридов, м <sup>2</sup> /с · 10 <sup>-12</sup>
3	45,3	19,5
7	52,6	13,9
14	59,5	8,6
28	68,6	6,2

# Контроль за электрохимическими процессами:

- Данные процессы приводят к коррозии арматуры разрушению конструкции

Осуществляется контроль :

- потенциала арматуры
- величины тока
- электрического удельного сопротивления



Показание электродного потенциала бетона по сравнению с электродом $\text{CuSO}_4$ , мВ	Прогнозируемая коррозионная активность
Менее отрицательное, чем -200	90—95 % вероятности отсутствия коррозии
-200... -350	До 50 % вероятности коррозии
Более отрицательное, чем -350	90—95 % вероятности коррозии

**Стандартные диапазоны значений потенциала стали (в мВ) в бетоне в сопоставлении с насыщенным медно-сульфатным электродом**

Состояние бетона	Потенциал стали, мВ
Водонасыщенный без кислорода	-900... -1000
Влажный, загрязненный хлоридами	-400... -600
Влажный без хлоридов	+100... -200
Влажный, карбонизированный	+100... -400
Сухой карбонизированный	- 200... 0
Сухой	0... +200



# Электрическое удельное сопротивление указывает на вероятность наличия коррозии арматурного каркаса

- Существуют по европейским нормам зависимости между электрическим удельным сопротивлением и опасностью возникновения коррозии:

Таблица 15

Зависимость между электрическим удельным сопротивлением бетона и вероятностью коррозии арматуры [10]

Электрическое удельное сопротивление бетона $\rho$ , кОм·см	Вероятность коррозии
> 100	Пренебрежимо малая
100—50	Низкая
50—10	Умеренная
< 10	Высокая

Таблица 16

Зависимость между электрическим удельным сопротивлением и скоростью коррозии депассивированной стальной арматуры [8]

Электрическое удельное сопротивление бетона $\rho$ , кОм·см	Вероятность скорости коррозии
< 5	Очень высокая
5—10	Высокая
10—20	Низкая/средняя
> 20	Низкая