

КАЗАХСКАЯ ГОЛОВНАЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ

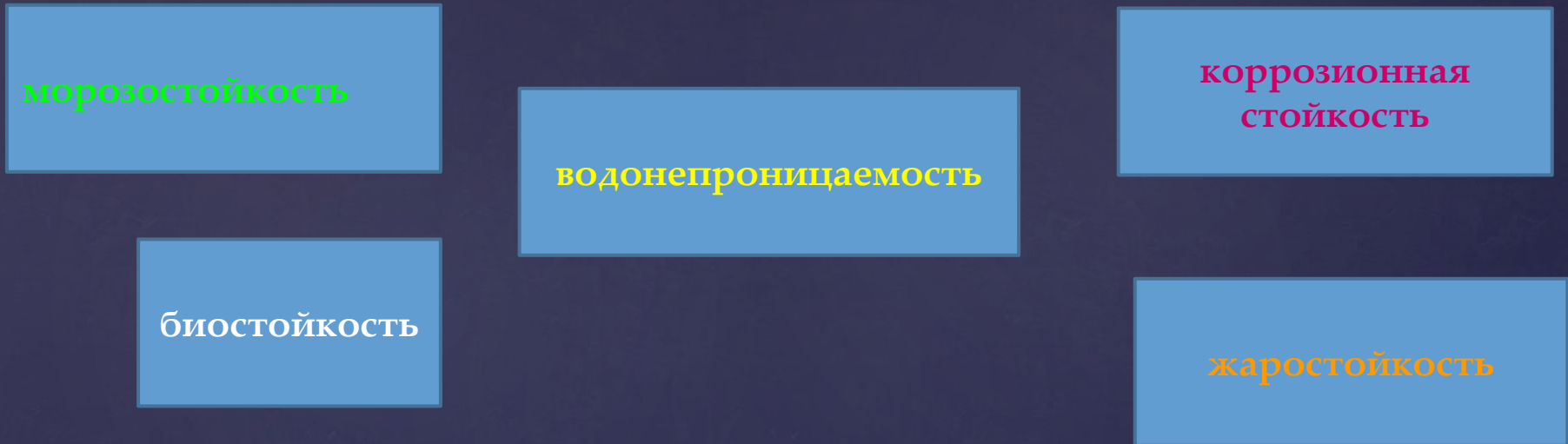
Дисциплина «Технология бетона 1»

Лекция 10 **ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНА**

Акад.проф. Колесникова И.В.

Долговечность железобетона

определяется условиями эксплуатации и стойкостью бетона к агрессивным воздействиям:



Нормы Казахстана регламентируют эпизодический контроль качества бетона по указанным показателям

Реальная обеспеченность стойкости бетонов является **неопределенной величиной**, т.к. для показателей долговечности характерна более высокая изменчивость при производстве и эксплуатации в сравнении с прочностью.

Бетонные конструкции, подвергнутые конструкции







Whitemix



КОРРОЗИЯ

ВНЕШНЯЯ

Агрессивные агенты
вносятся в структуру
бетона из внешне среды

ВНУТРЕННЯЯ

Агрессивные агенты
вносятся в структуру
с его компонентами
на стадии
изготовления
бетонной смеси

ХИМИЧЕСКАЯ ВНЕШНЯЯ

Агрессивный
фактор – агрессивные
агенты образуют с
цементным камнем
новые соединения

БИОЛОГИЧЕСКАЯ

Агрессивный фактор-
вещества (кислоты),
образующиеся в
результате
жизнедеятельности
некоторых бактерий.
Происходит по
механизму
химической коррозии

ФИЗИЧЕСКАЯ

Агрессивный
фактор –
физические
процессы,
протекающие
без химического
взаимодействия
с цементным
камнем

ВИДЫ КОРРОЗИИ

по протеканию процесса



Коррозионно – механическое
изнашивание

К 1 и 2 процессам
добавляются механические
воздействия: трение, вибрация,
изгибающие нагрузки и т. п.

ХИМИЧЕСКАЯ ВНЕШНЯЯ КОРРОЗИЯ (Классификация В.М.Москвина)



Вымывание гидроксида кальция в результате воздействия на бетон жидких сред, особенно мягких вод. Снижается показатель рН поровой жидкости



Образование в результате обменных реакций между агрессивными агентами и продуктами гидратации цемента:

- легкорастворимых веществ, выносимых фильтрацией
- веществ, выпадающих в осадок и не обладающих вяжущими свойствами



Образование в результате взаимодействия продуктов гидратации цементного камня с агрессивными агентами:

- соединений, превышающих в объеме первоначальный объем реагирующих веществ

Коррозия I вида (выщелачивание)

Механизм гидролиза цементного клинкера в результате коррозии:

растворение и выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ \longrightarrow дегидратация алита и белита с образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и его выщелачивание \longrightarrow гидролиз C_4AF и выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ \longrightarrow гидролиз гидроалюминатов кальция и выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$.



Потеря прочности растворной части бетона \longrightarrow потеря прочности бетона \longrightarrow разрушение бетона (при потере 33% CaO).

Скорость коррозии определяется:

- предельным количеством CaO , которое может быть удалено из цементного камня без потери его свойств
- скоростью течения воды, омывающей бетон (количеством воды, фильтрующейся через единицу объема бетона в единицу времени). При больших скоростях течения воды рост интенсивности выщелачивания зависит от скорости отвода CaO с поверхности бетона
- химическим составом воды-среды:
 - соли, повышающие ионную силу раствора, увеличивают выщелачивание;
 - соли кальция (CaHCO_3 , CaCO_3) снижают скорость выщелачивания в результате процессов карбонизации;
- составом портландцемента (преобладание (алита C_3S , белита C_2S) понижает стойкость цементного камня

Коррозия выщелачивания (коррозия 1-го вида)

Выщелачивание – процесс растворения и выноса гидроксиды кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из тела бетона фильтрующейся через его толщину водой.

Наиболее опасно, когда вода фильтруется через тело бетона под напором.

Снижается плотность бетона, а следовательно, и его прочность.

При бетонах нормальной плотности, высокой жесткости воды, медленном ее поступлении к открытой поверхности конструкции в бетоне часто происходит постепенное затухание процесса фильтрации из-за отложения в его порах мельчайших взвешенных в воде минеральных частиц (кальматации пор).



Характерные признаки коррозии выщелачивания - образование белых потеков, хлопьев или сталактитов на внутренней, не соприкасающейся с водой поверхности бетона.

этот вид коррозии наблюдается с наружной стороны железобетонных емкостей, предназначенных для хранения химических реагентов при разрушении или повреждении внутренней химической изоляции



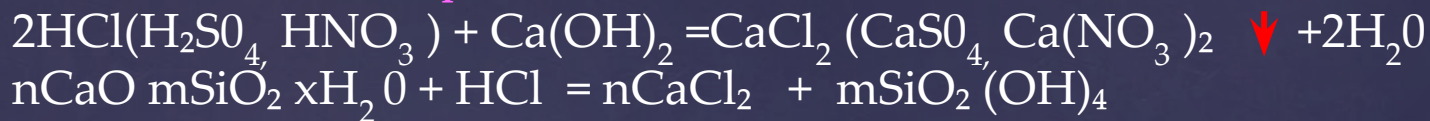
Коррозия II вида

Механизм коррозии в результате реакций:

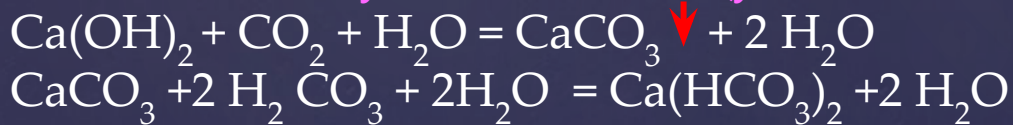
- снижение концентрации CaO \longrightarrow
- снижение pH \longrightarrow коррозия арматуры
- образование малорастворимых, легкорастворимых солей \longrightarrow
снижение прочности бетона

Кислотная коррозия

Под действием неорганических кислот \longrightarrow

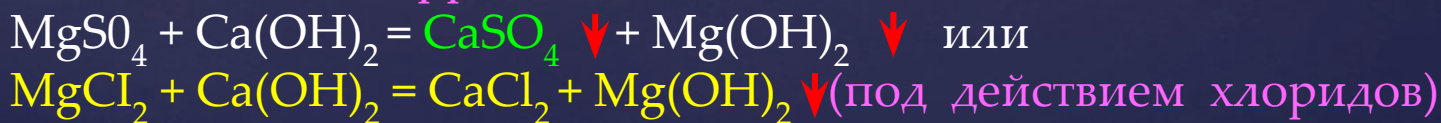


Под действием углекислых вод (углекислотная) – встречается наиболее часто

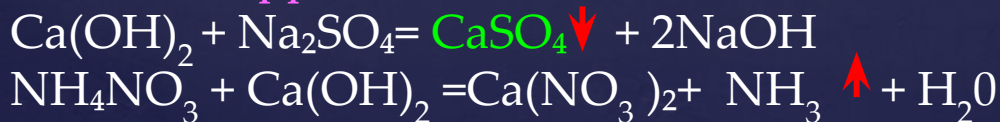


Солевая коррозия

Магнезиальная коррозия



Солевая коррозия



CaSO_4 - участвует далее в коррозии III вида

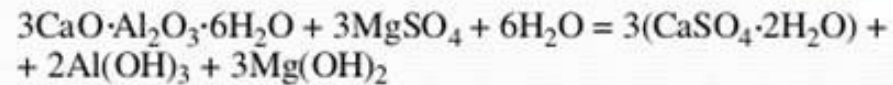
Магнезиальная коррозия бетона



$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgSO}_4 + n\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 + \text{Mg}(\text{OH})_2 + n\text{H}_2\text{O}$,
при этом сульфат кальция может привести к
образованию бациллы.

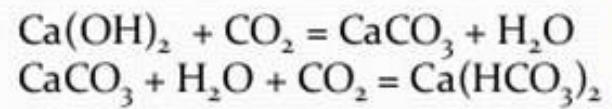
$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgCl}_2 + n\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CaCl}_2 + n\text{H}_2\text{O}$,
гидроксид магния представляет собой рыхлое,
непрочное вещество, и легко вымывается водой.

Кроме того, возможна реакция:



Старые бетонные столбы, торчащие на воде. Коррозия металла и разрушение бетона.
© Юрия Коваленко / Фотобанк Лори

Углекислотная коррозия бетона



Коррозия III вида

Механизм коррозии:

взаимодействие сульфатов с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и продуктов гидратации C_3A с образованием веществ, объем которых значительно превышает объем вступающих в реакцию веществ:

- гидросульфоалюмината кальция - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (30-32)\text{H}_2\text{O}$ (эттрингит) и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (8-12)\text{H}_2\text{O}$ (аналог природного минерала *эттрингита*)
- либо гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- либо гидросульфокарбосиликата кальция $\text{CaSiO}_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ (*таусманита*) - образуется при низких положительных температурах



вызывает значительные напряжения



разрушение структуры бетона

КОРРОЗИЯ ТРЕТЬЕГО ВИДА (СУЛЬФАТНАЯ КОРРОЗИЯ)

Сульфатная коррозия бетона возникает под действием воды, содержащей сульфат кальция, магния, натрия и др.:

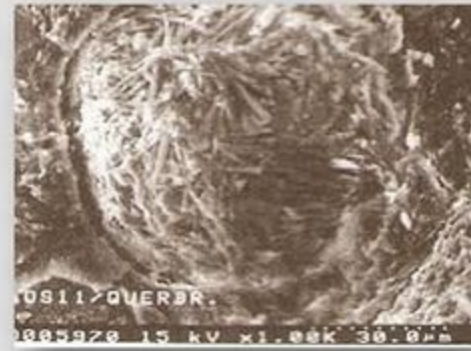
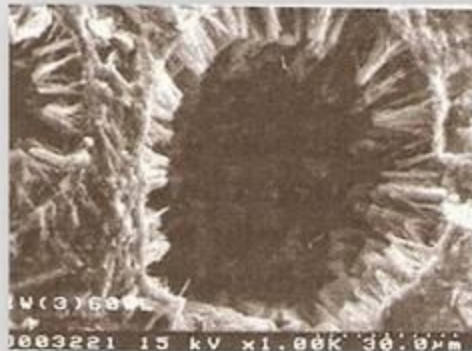
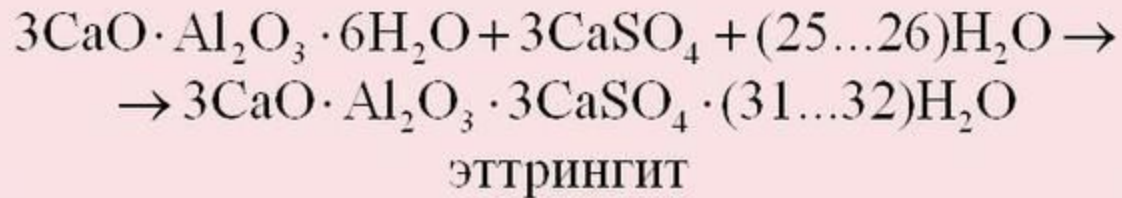


Рис. 3. Кристаллы этtringита в порах бетона

Признаки коррозии:

I вида : *белый налет на бетонных конструкциях*

II вида: *появление трещин*

III вида: *увеличение объема ЖБ элементов, п
появление трещин*

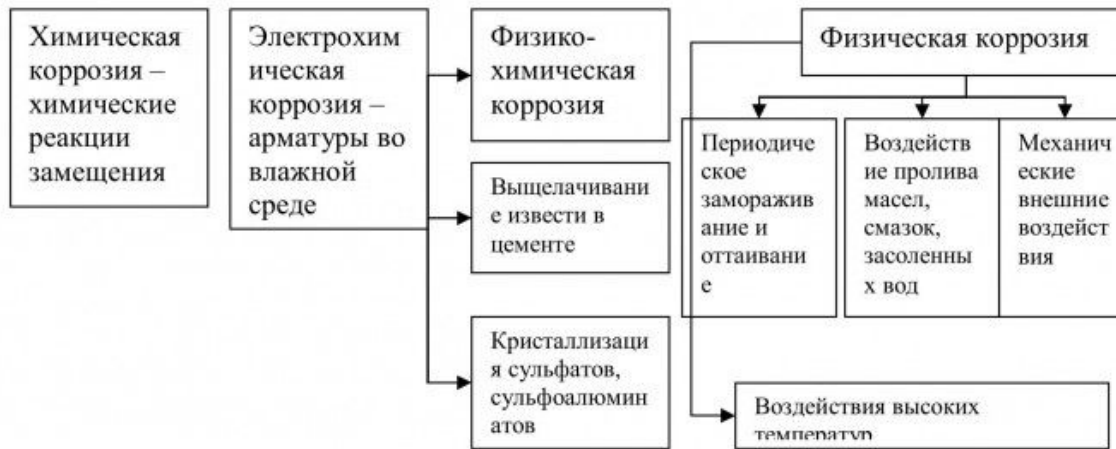


Классификация процессов коррозии бетона и железобетона

Таблица 4

| Природа определяющего коррозионного процесса | Вид коррозии (по В.М. Москвину) | Коррозионные процессы | Параметры количественной оценки коррозионного процесса | Факторы, определяющие кинетику коррозионного процесса | |
|---|---------------------------------|--|---|--|--|
| | | | | в условиях напорной фильтрации | при свободном омывании |
| Физико-химические процессы: растворение, кристаллизация | 1 | Выщелачивание водой, не содержащей солей | Количество растворимых компонентов цементного камня, вынесенных из бетона | Скорость внутренней диффузии | |
| | 1-3 | Выщелачивание нейтральными солевыми растворами | | | |
| | 3 | Кристаллизация | Количество внесенных агрессивных компонентов или продуктов их взаимодействия с цементным камнем | Скорость капиллярного движения к испаряющей поверхности | Скорость внутренней диффузии |
| Химическое взаимодействие агрессивной среды с компонентами цементного камня | 3-2-1 | Сульфатная коррозия | | Количество агрессивного компонента, прореагировавшего с цементным камнем | Объемная скорость фильтрации и процессы уплотнения цементного камня продуктами реакции |
| | 2 | Кислотная коррозия | | | |
| | 2 | Магнезиальная коррозия | | | |
| Электролиз цементного камня | – | Электрокоррозия | Количество электричества, прошедшего через элемент конструкции | Напряжение и сила тока, электропроводность бетона | |
| Адсорбция поверхностно-активных веществ | – | Адсорбция и понижение поверхностной энергией твердого тела | Понижение прочности цементного камня | Концентрация поверхностно-активных веществ. Напряженное состояние | |

Виды разрушения бетонных и железобетонных конструкций



Факторы, вызывающие коррозию бетонных и железобетонных конструкций



Методы борьбы с коррозией бетона

выбор цемента



увеличение
плотности
бетона



применение
защитных
покрытий



снижение
агрессивности
среды



Добавки
для
бетона



Добавки-
пластификаторы

карбонизация



Классификация методов борьбы с коррозией бетона

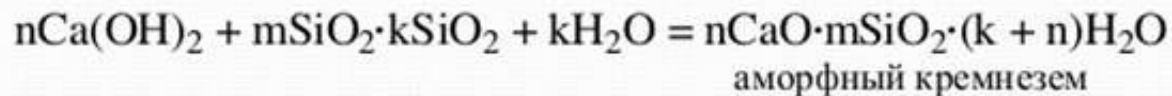
Первичная защита

Химические модификаторы

добавки способны образовывать с гидроксидом кальция малорастворимые соединения

Вторичная защита

- лакокрасочные покрытия
- оклеечные
- облицовочные покрытия
- пропитку
- гидрофобизацию
- биоцидные материалы





Добавки – пластификаторы (супер- и гиперпластификаторы)

Отличие гиперпластификатора от суперпластификатора в том что первый снижает вязкость бетонной смеси при очень малой концентрации в смеси.



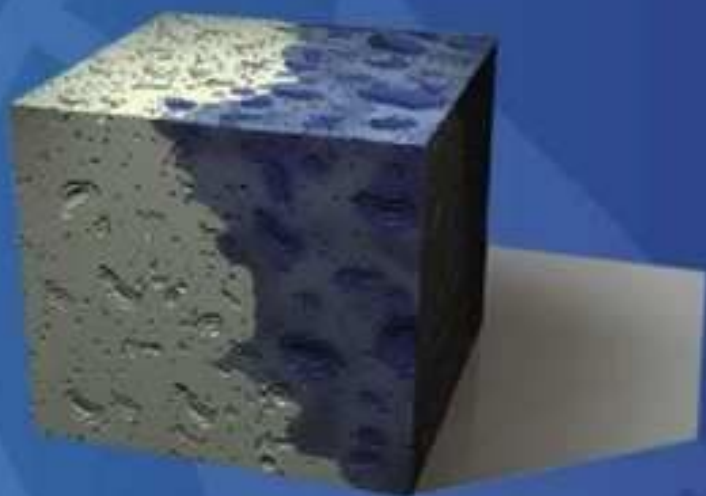
Лигносulfонат
нафталина



Лигносulfонаты, сульфитно-дрожжевая бражка СДБ, поверхностно-активный щелок.

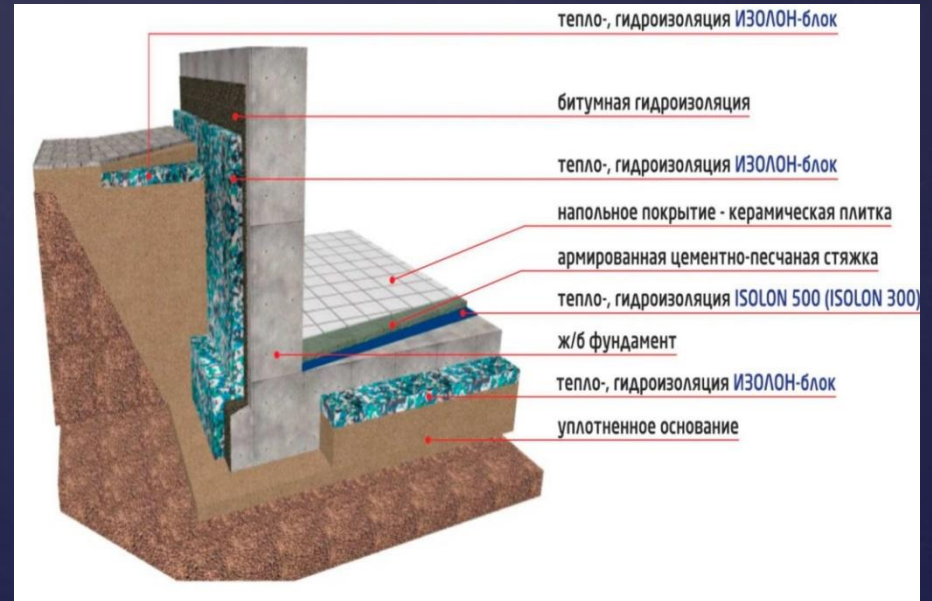
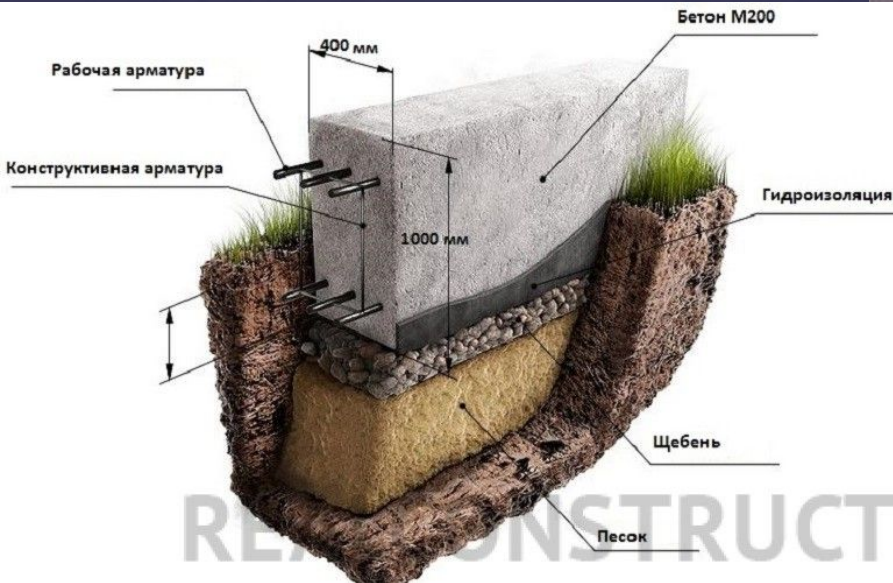
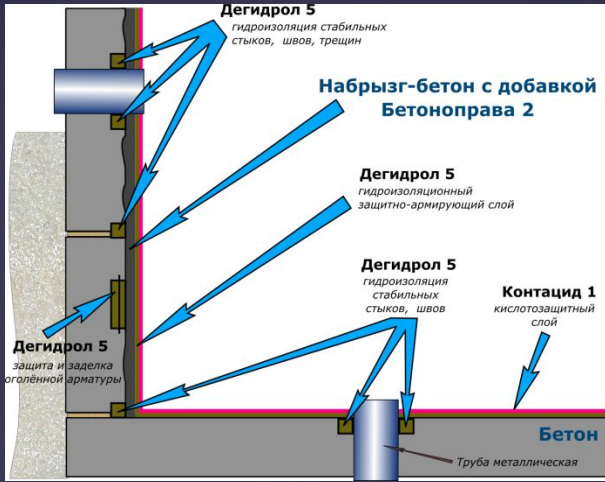
Введение пластификаторов на основе лигносulfонатов в бетонную смесь резко увеличивает ее подвижность - 16-18 см вместо 10-12 см для смесей такого же состава без добавок.

Влажный бетон



Активная течь





Общие факторы повышения стойкости бетона для всех видов коррозии:

- повышение плотности бетона

При коррозии I вида

- введением в цемент активной гидравлической добавки (трепела, трасса и др.)
- применением специальных цементов, в частности, пуццолановых; гидроизоляцию поверхности бетона; облицовку или пропитку бетона, и т. д.
- естественной или искусственной карбонизацией поверхностного слоя бетона;
- гидроизоляцией поверхности бетона
- облицовкой или пропиткой бетона, и т. д.

При коррозии III вида:

- применение портландцементов с ограниченным содержанием C_3A в клинкере, в частности, сульфатостойкого портландцемента, глиноземистого цемента
- введение добавок:
 - воздухововлекающих
 - пластифицирующих
 - повышающих растворимость $Ca(OH)_2$ и $CaSO_4$
 - добавок типа $CaCl_2$,
 - кремнийорганических
 - введение токодисперсных кремнеземистых добавок для связывания $Ca(OH)_2$



гидрофобилляторы:

Порошки: бентонит, полимерная эмульсия.

Соли: стеараты и олеаты металлов.

Пластификаторы – смолы.

Активаторы затвердения – хлориды

Аэрозольные тонкие покрытия лаком или краской.

Мастичные покрытия.

Оклеечные пленки.

Полимерная облицовка.

Жидкая пропитка.

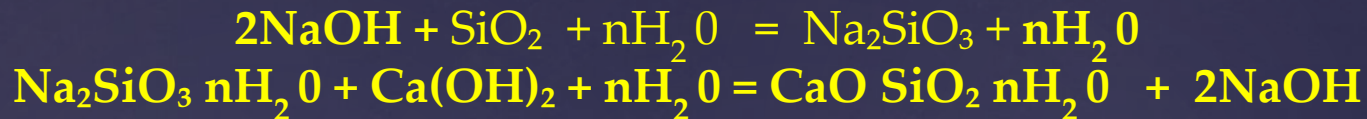
Метод гидрофобизации.

Использование биоцидных составов.

ВНУТРЕННЯЯ КОРРОЗИЯ

Механизм коррозии:

- Взаимодействие щелочей цемента с активным кремнеземом, входящим в состав некоторых заполнителей (кремнистые породы: кремнистый известняк, туфовый известняк, халцедоновый сланец, опаловый сланец, реолитовые и андезитовые вулканические породы и др.) типа:



увеличение объема



трещинообразование, разрушение может начаться через 4 недели, максимальное повреждение к 6-12 месяцам, через 12 мес.

расширение может составить 0,5 мм/м

- Содержание щелочей в цементе может быть: от 0,3 до 1,8 %. Предельное содержание щелочей 0,6 % с учетом количества цемента в бетоне.
- Попадают из сырья и топлива
- Заполнитель считается реакционно опасным при содержании в нем микрокремнезема более 50 мг/л
- Заполнитель размером менее 1 мм рассматривается как не опасный

Признаки: поверхность бетона вспучивается, шелушится, образуются трещины; на уровне микроструктуры – образование студенистых отложений белого цвета на поверхности заполнителя



Условия возникновения и компоненты кислотно-щелочной реакции в бетоне

ФИЗИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ

Механизм коррозии:

переход солей, образующих скопления в порах цементного камня в кристаллогидраты с большим количеством кристаллизационной воды



Увеличение объема новообразований



Значительные напряжения в бетоне и разрушение

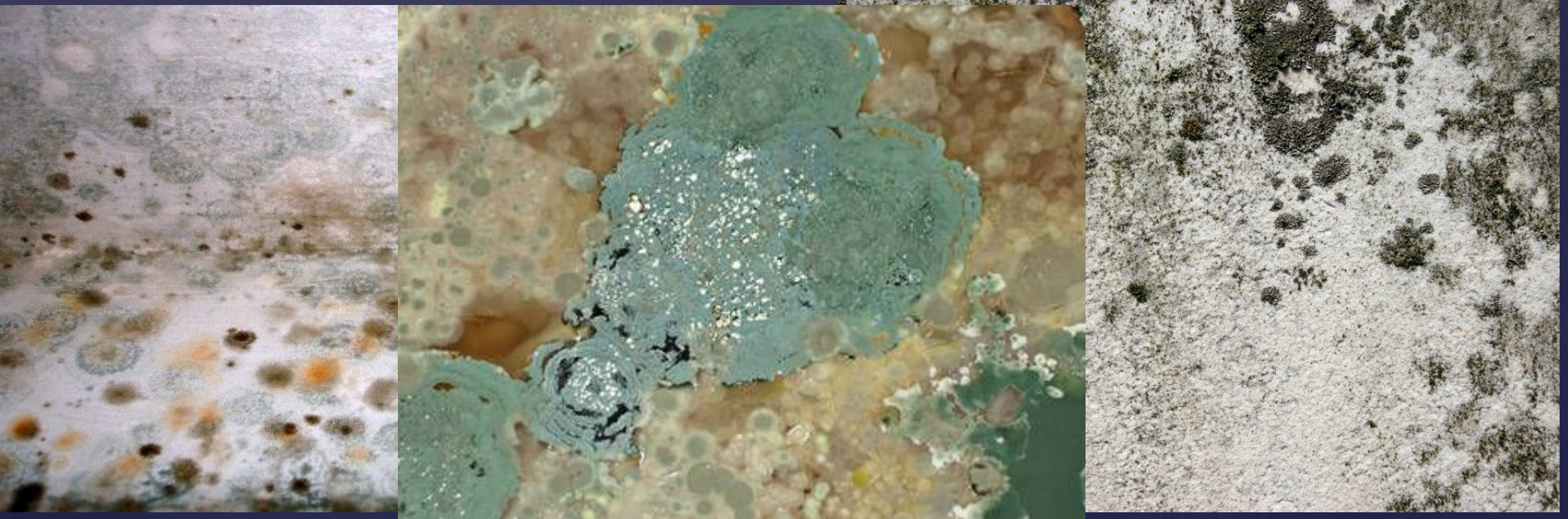
Характеристика некоторых кристаллогидратов

| Соль | Кристаллогидрат | Температура перехода, °С | Увеличение объема, % |
|-------------------------------------|---|--------------------------|----------------------|
| NaCl | NaCl·2H ₂ O | 0,15 | 130 |
| Na ₂ SO ₄ | NaCl·10H ₂ O | 32,3 | 311 |
| MgSO ₄ ·H ₂ O | MgSO ₄ ·6H ₂ O | 73 | 145 |
| Na ₂ CO ₃ | Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O | 33 | 148 |

БИОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ

Механизмы коррозии:

- Окисление соединений серы бактериями *Thiobacillus* (при $\text{pH}=0,5-6$ и температуре $10-37^\circ\text{C}$, повышенной влажности) до серной кислоты, далее процессы по схеме коррозии сначала - II вида, затем III вида.
- Окисление аммиака бактериями-нитрификаторами до азотной кислоты, далее процессы по схеме коррозии II вида.



ГЛУБИНА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА

В зависимости от глубины разрушения бетона при коррозии различают слабо-, средне- и сильноагрессивные среды .

Допустимая глубина разрушения (см) бетона за 50 лет эксплуатации

| Степень агрессивности воды-среды | Конструкции | |
|----------------------------------|----------------|----------|
| | железобетонные | бетонные |
| Неагрессивная | 1 | 2 |
| Слабоагрессивная | 1-2 | 2-4 |
| Среднеагрессивная | 2-4 | 4-6 |
| Сильноагрессивная | Более 4 | Более 6 |

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ БЕТОНА ОТ КОРРОЗИИ

основаны на получении плотного бетона с минимальной проницаемостью (по коэффициенту фильтрации) и открытой пористостью (водопоглощение), что регламентировано СНиП 2.03.11

Требования к бетону в условиях воздействия агрессивных сред

| Условное обозначение показателя проницаемости и бетона | Показатели проницаемости бетона | | | |
|--|-----------------------------------|--|----------------------------|---------------|
| | Прямые | | Косвенные | |
| | Марка бетона по вонепроницаемости | Коэф. фильтрации, см/с при равновесной влажности | Водопоглощение, % по массе | В/Ц, не менее |
| Н –нормальной проницаемости | W4 | Св. $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$ | Св.4,7 до 5,7 | 0,6 |
| П –пониженной проницаемости | W6 | Св. $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$ | Св.4,2 до 4,7 | 0,55 |
| О –особо низкой проницаемости | W8 | Св. $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$ | До 4,2 | 0,45 |

КОРРОЗИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ

Защитное действие бетона по отношению к арматуре определяется **способностью цементного камня пассивировать сталь.**

В подавляющем большинстве случаев коррозия металлов происходит по электрохимическому механизму, для осуществления которого **необходимы следующие условия:**

- 1) наличие разности потенциалов на поверхности металла;
- 2) наличие электролитической связи между участками поверхности металла с различными потенциалами;
- 3) активное состояние поверхности на анодных участках, где осуществляется растворение металла по реакции $n\text{H}_2\text{O} + \text{Me} \rightarrow \text{Me}^+ + n\text{H}_2\text{O} + e^-$
- 4) наличие достаточного количества деполяризатора, в частности, кислорода, необходимого для ассимиляции на катодных участках поверхности металла избыточных электронов $4e^- + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4(\text{OH})^-$

Скорость коррозии стали зависит от степени агрессивности воды-среды, которая оценивается :

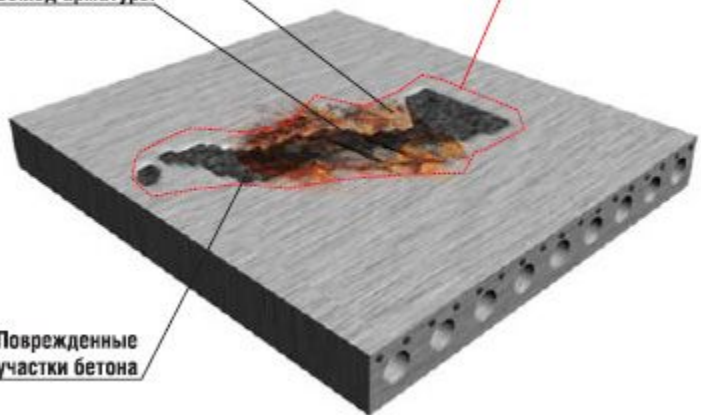
- по pH
- по содержанию кислорода

Грязь, ржавчина

Выход арматуры

Участки бетона,
подлежащие удалению

Поврежденные
участки бетона



Коррозия арматуры



Отсутствие коррозии стали обусловлено ее пассивностью в щелочной среде, т.е. неспособностью к растворению по приведенной выше реакции

Для сохранения пассивности стали в бетоне необходим ее постоянный контакт с поровой жидкостью, щелочность которой должна иметь водородный показатель $pH \geq 11,8$.

Этому условию отвечают бетоны повышенной плотности на портландцементе и его разновидностях, в частности: шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе.

pH :

- в процессе схватывания и твердения 13,5...13,8
- в затвердевшем бетоне 12,0...12,5

Обеспечить сохранность арматуры в тяжелых и легких бетонах можно:

- повышением плотности , уменьшением проницаемости бетонов
- повышением защитных свойств бетона путем введения ингибирующих и уплотняющих добавок
- в бетонах с пониженным рН поровой жидкости (цементные или силикатные бетоны автоклавного твердения, бетоны на гипсоцементнопуццолановом вяжущем и др.) обеспечивается посредством нанесения на арматуру специальных покрытий: цементно-битумных, цементно-полистирольных, цементно-латексных.

Если названных мер защиты недостаточно для обеспечения долго вечности железобетонной конструкции, то необходимо применять специальные защитные покрытия по бетону, которые рекомендуются Строительными нормами по защите строительных конструкций от коррозии (СниП 2.03.11-85).