



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Химическое сопротивление материалов

Лихачев Владислав Александрович, к.х.н., доцент



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Структура курса «Химическое сопротивление материалов»

- 18 час лекций;
- 18 часов лабораторного практикума (4 работы по 4 часа);
- Разработка новой лабораторной работы;
- Финишная контрольная работа;
- Экзамен.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Литература

Основная литература

- 1. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии [Текст]: учеб. пособие / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов; под ред. И. В. Семеновой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 376 с.
- 2. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов [Текст]: учеб. пособие / Н. П. Жук. - М.: Metallurgy, 1976. - 472 с.: ил.
- 3. Шевченко, А. А. Химическое сопротивление неметаллических материалов и защита от коррозии [Текст]: учеб. пособие / А. А. Шевченко. - М.: Химия КолосС, 2004. - 248 с.: ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Литература

Методическая литература

- 1. Лихачев В.А.,. Практикум по курсу «Химическое сопротивление материалов» [Текст]: учеб. пособие. – Киров : ВятГУ, 2016. – 86 с.
- Лихачев, В. А. Коррозия и защита строительных конструкций [Текст] : учеб. пособие / В. А. Лихачев, Е. Д. Глушков; ПРИП ФГБОУ ВПО ВятГУ, - Киров, 2012. - 96 с.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Классификация строительных материалов

1. Природные

2. Искусственные

1. Природные

1.1 Неорганические (горные породы);

1.2. Органические (дерево, солома,
камыш и т.д.)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Строительные конструкционные материалы

Природные материалы (Горные породы)

Изверженные Осадочные Метаморфические

(первичные) (вторичные) (видоизмененные)

Глубинные **Обломочные** (мрамор, кварцит,

(гранит, сиенит, (гравий, щебень глинистый
дорит) песок, глина) сланец

Излившиеся **Химические**

(диабаз, базальт, (известняк, гипс)

порфир) **Органогенные**

(мел, ракушечник)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Искусственные строительные конструкционные материалы

Искусственные строительные конструкционные материалы (искусственные строительные конгломераты (ИСК)) выполняются на основе вяжущих веществ и различаются по технологии на три вида:

1. **Безобжиговые** (бетон, железобетон, строительные шпаклевки и грунтовки);
2. **Обжиговые** (красный кирпич, керамические материалы, стекло, каменное расплавы, шлаки);
3. **Автоклавные** (силикатный кирпич, железобетонные плиты и блоки, асбоцементные изделия и т.д.)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Вяжущие вещества строительных материалов

- Основой строительных материалов являются **вяжущие вещества**, способные при взаимодействии с водой или при обжиге связываться друг с другом и с наполнителями строительных смесей, образуя искусственный камень.
- Вяжущимися свойствами обладают:
- Оксиды (CaO , MgO , Al_2O_3);
- Соли (CaSO_4 , Na_2SiO_3);
- Гашеная известь (Ca(OH)_2), шлаки, цемент.
- Цемент – многокомпонентное сложная вяжущая смесь, содержащая в своем составе различные виды вяжущих веществ в разной пропорции, отсюда много видов цементов: портландцемент, шлакопортландцемент, карбонатный портландцемент и т.д.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Химическое сопротивление (коррозия) бетона и железобетона



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Бетон как строительный конструкционный материал

**Бетон - сложный пористый
искусственный композиционный
материал, полученный путём
затвердевания смеси вяжущего
вещества (цемента), заполнителей
(песка, гравия щебня,) и воды.**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Состав бетона

В результате взаимодействия вяжущего вещества и наполнителей с водой образуется цементный камень, содержащий в себе разнообразные химические соединения, состав которых зависит от вида вяжущего (цемента).



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Составляющие цементного камня

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ – гидроксид кальция (фаза C-H)

$5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$ - гидросиликат кальция-1 (фаза C-S-H(1))

$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 1,17\text{H}_2\text{O}$ - гидросиликат кальция-2 (фаза C-S-H(2))

$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ - гидроалюминат кальция (фаза C-A-H)

$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1,17\text{H}_2\text{O}$ - гидроферрит кальция (фаза C-F-H)

$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ - гидросульфоалюминат кальция
(фаза C-A-Cs-H)(этtringит)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

рН поровой воды внутри бетона

- Цементный камень бетона и железобетона при любой технологии получения всегда имеет **поры**, в которые в процессе эксплуатации попадает вода.
- В поровой воде растворяются составляющие цементного камня и прежде всего известь.
- Известь и другие фазы находясь в равновесии с водой в порах бетона, обеспечивают её рН в пределах **12-12,5**. При таком рН внутри бетона устойчивы, как все его составляющие, так и арматура железобетона.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Поведение железа в условиях электрохимической коррозии

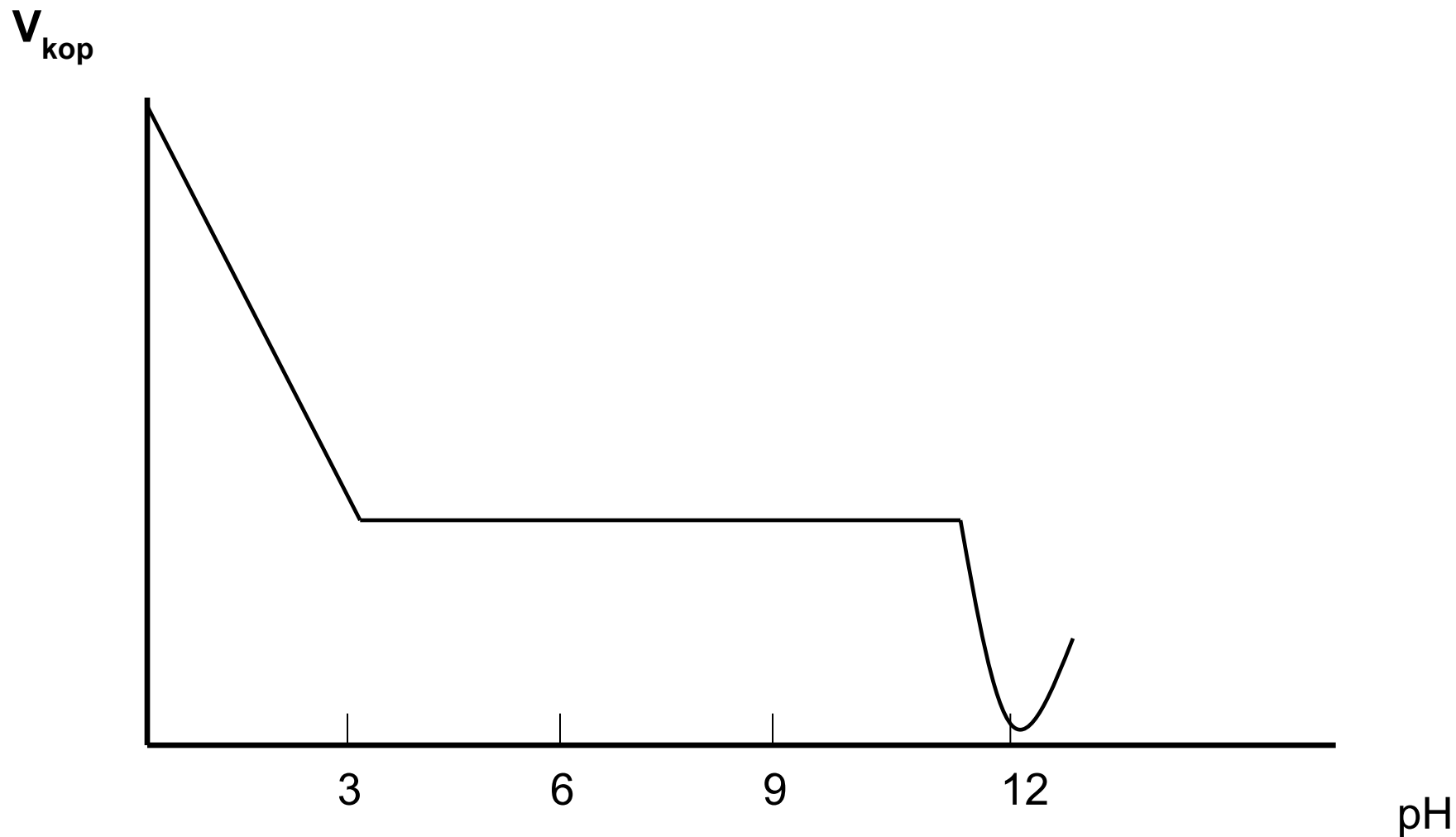


Рис. 1 Зависимость скорости коррозии железа от pH среды



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды коррозии бетона и железобетона

Бетон и железобетон могут эксплуатироваться в разных средах, Отсюда различают следующие виды коррозии бетона и железобетона:

- **1. Коррозия в жидких средах**
- **2. Коррозия в агрессивных атмосферах**
- **3. Подземная коррозия.**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в жидких средах



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

- Самой распространенной коррозионной средой является вода.
- Вода становится опасной, когда начинает фильтроваться через бетон.
- Поэтому важно знать, есть или нет фильтрация воды через бетонную конструкцию, что ее вызывает.

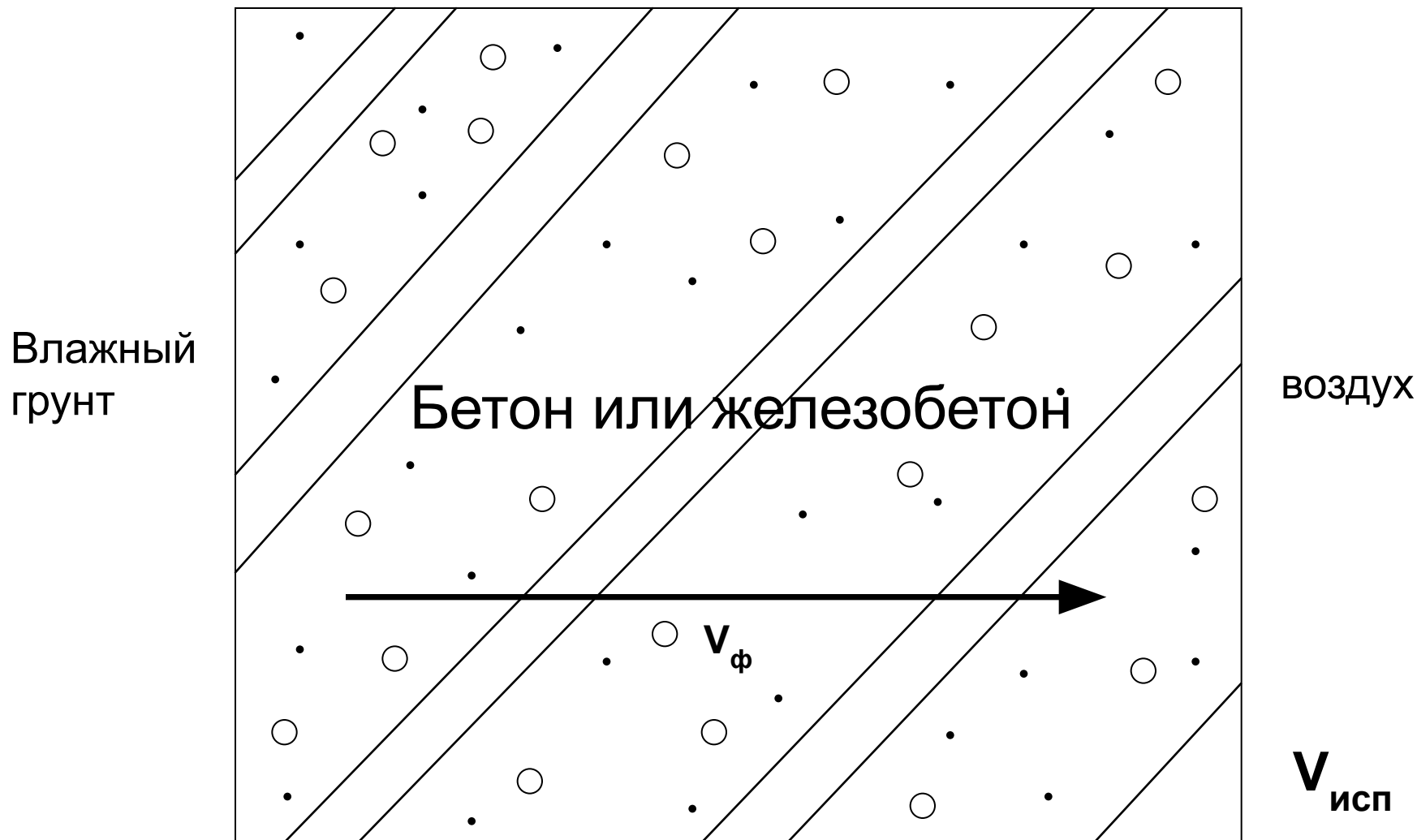


Рис. 5.1 Схема напорного сооружения

V_{ϕ} - Скорость фильтрации природных вод через бетон; $V_{\text{исп}}$ - скорость испарения фильтрующихся вод с поверхности бетона со стороны воздуха



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Движущие силы фильтрации

Таким образом, движущими силами фильтрации являются:

1. Градиент концентрации воды с разных сторон бетонной конструкции;
2. Сила притяжения в горизонтальных бетонных конструкциях.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

При эксплуатации бетонных сооружений
возможны два случая:

- а) скорость фильтрации больше скорости
испарения ($V_{\text{ф}} > V_{\text{исп}}$) – **опасность для
бетона высокая**
- б) скорость фильтрации меньше скорости
испарения ($V_{\text{ф}} < V_{\text{исп}}$) – **опасность не
высокая**



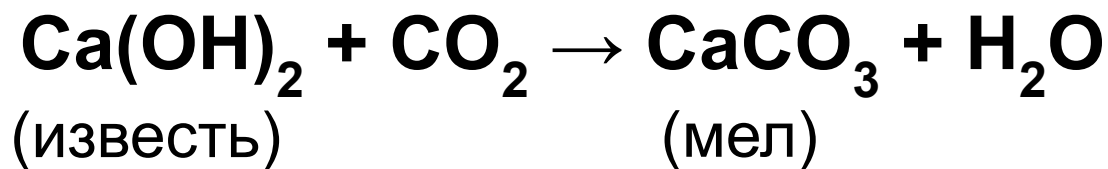
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

1 случай : $V_{\text{ф}} > V_{\text{исп}}$

Фильтрующаяся через бетон вода растворяет и выносит на поверхность **Ca(OH)_2** .

На поверхности бетона происходит реакция взаимодействия извести с углекислым газом, присутствующем в воздухе:



На бетонной конструкции появляются меловые подтеки .



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

При постепенном вымывании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и других компонентов бетона наблюдается 2 процесса:

1. Возрастает **пористость** бетона
2. Происходит его **нейтрализация** (pH внутри бетона уменьшается)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

Увеличение пористости →
увеличивает **фильтрацию**,
и снижает рабочие **характеристики**
бетона.

И при очень больших порах может
появиться **морозильный эффект**.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

- При **снижении pH** внутри бетона (при **нейтрализации** его) до $\text{pH} = 11,5$ начинается коррозия в нем арматуры с образованием объемной ржавчины;
- Внутри бетона возникают высокие внутренние **напряжения**;
- Бетон начинает **растрескиваться** вдоль арматуры.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Трещины вдоль арматуры

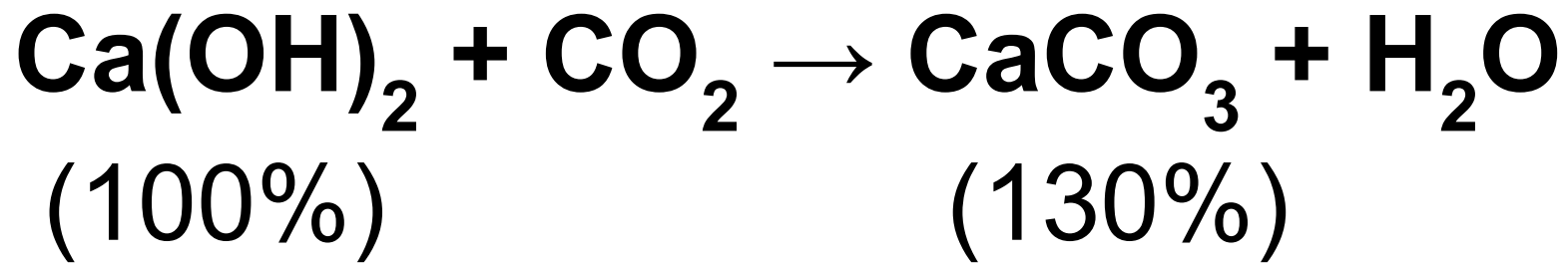




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

При втором условии $V_{\text{ф}} < V_{\text{исп}}$
реакция:



происходит в поверхностных
слоях бетона.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

Образующийся при этом
малорастворимый мел
заполняет поры бетона, и
происходит уплотнение
поверхностных слоёв
бетона со стороны
воздуха.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в воде

Фильтрация воды через бетон уменьшается, а, следовательно, вымывание составляющих бетона и его нейтрализация не происходят.

Все гидротехнические сооружения (например, плотины), проектируются с учетом, чтобы $V_{\text{ф}} < V_{\text{исп}}$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кислотная коррозия

- В промышленных цехах не исключен пролив кислот на плиты перекрытия.
- **Кислые растворы с $\text{pH} < 3-4$ взаимодействуют со всеми составляющими цементного камня в результате связи в цементном камне нарушаются и он разваливается.**
- Кислые растворы еще более опасны по отношению к железобетону, так как приводят к быстрой нейтрализации бетона, в результате чего начинается коррозия арматуры, сопровождающаяся растрескиванием бетона, и конструкция разваливается еще быстрее.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кислотная коррозия бетона и железобетона

- Чем выше концентрация кислот, тем меньше в них устойчивость бетона
- Контакт бетона с кислыми средами должен быть **исключен.**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Щелочная коррозия

Для бетона и железобетона **низкоконцентрированные** щелочи ($C < 50$ г/л) не опасны, т.к. в их составе уже есть малорастворимая щелочь $\text{Ca}(\text{OH})_2$

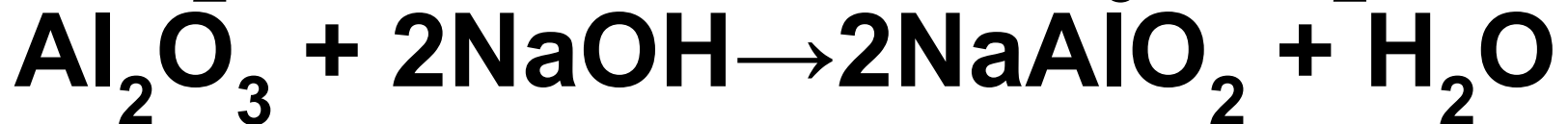
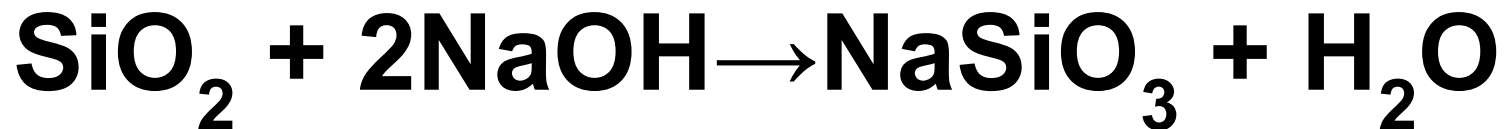
Для бетона опасны растворы щелочей с концентрацией более 50 г/л, которые начинают взаимодействовать с некоторыми составляющими цементного камня (**SiO_2**
 Al_2O_3)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Щелочная коррозия

Взаимодействие составляющих цементного камня с концентрированными щелочами приводит к образованию растворимых или гелеобразных соединений:



Бетон и железобетон начинают разрушаться, поэтому контакт бетона и железобетона с концентрированными щелочами также должен быть **исключен**



Коррозия в NaCl

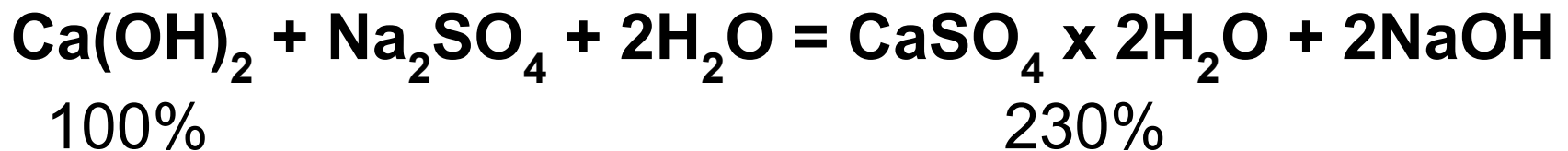
- Раствор NaCl попадая в поры бетона взаимодействует с наиболее активной его составляющей известью.
- $\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{NaOH}$
- В результате этой реакции получаются **растворимые** продукты коррозии, они вымываются, растёт пористость бетона и бетон теряет свои несущие свойства.
- Еще более опасен NaCl по отношению к железобетону, т.к. вызывает коррозию арматуры даже при исходном $\text{pH} = 12,5$



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Коррозия бетона и железобетона в серосодержащих средах

Коррозионное воздействие жидких сред с компонентами, которые вступают во взаимодействие с составляющими бетона и образуют при этом нерастворимые объёмные соединения.



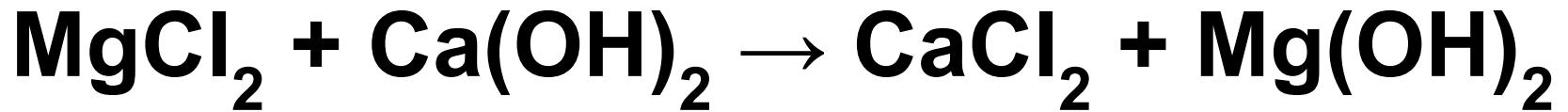
В бетоне появляются высокие внутренние напряжения, он растрескивается и кусками отпадает



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Магнезиальная коррозия

- В сточных и грунтовых водах часто встречаются соли магния, в частности хлорид магния (MgCl_2)



- Mg(OH)_2 – нерастворимое основание, поэтому в результате такой реакции происходит нейтрализация бетона со всеми вытекающими последствиями.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона и железобетона

Коррозия бетона и железобетона в условиях агрессивной атмосферы.

Любая сухая атмосфера для бетона
и железобетона **не опасна.**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона и железобетона

При влажности $> 60\%$ внутри бетона появляется капиллярная влага, в ней растворяются газы, присутствующие в загрязнённой агрессивной атмосфере, и начинается их взаимодействие с составляющими цементного камня.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Классификация агрессивных атмосфер

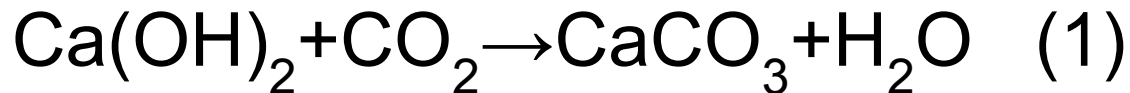
Согласно Алексееву С.Н. в атмосфере могут присутствовать **3 группы газов** :

1. Газы, образующие при реакции с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, **нерастворимые** или **малорастворимые соли** с небольшим объёмом. Это CO_2 , пары плавиковой кислоты, пары щавелевой кислоты, т.д. Наиболее часто на практике встречаются атмосферы с повышенным содержанием CO_2 ,



Атмосферная коррозия бетона и железобетона

При повышенном содержании углекислого газа в воздухе в поровой влаге бетона происходит следующая реакция:



Образующийся по реакции мел CaCO_3 по объему лишь на 30% больше исходной извести Ca(OH)_2 , поэтому такие газы по отношению к бетону представляют не очень высокую опасность.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 1 группы

Газы 1 группы представляют опасность для железобетона, т.к. реакция (1) приводит к нейтрализации бетона, pH внутри бетона снижается с 12,5 до 11,5.

Эта нейтрализация может идти долго (30-50 лет) в зависимости от концентрации CO_2 в воздухе. Но как только она пройдет, начинается коррозия арматуры с образованием объёмных продуктов коррозии, и бетон начинает растрескиваться вдоль арматуры.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 2 группы

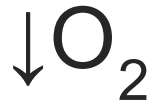
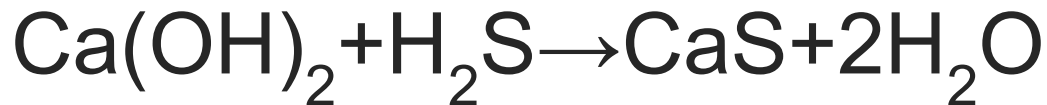
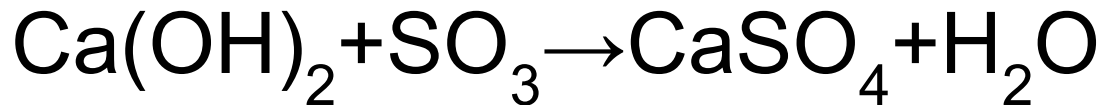
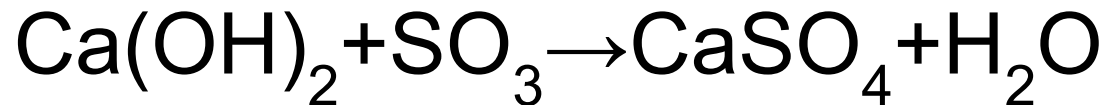
2. Газы, образующие при реакции с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ нерастворимые объемные продукты коррозии. Это серосодержащие газы SO_3 , SO_2 , H_2S .



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 2 группы

При взаимодействии этих газов с
известью протекают следующие
реакции:





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 2 группы

Все газы при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ дают один продукт: CaSO_4 – гипс, который по объёму в 2,3 раза больше, чем $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Вначале бетон уплотняется, затем в поверхностных слоях начинают возрастать внутренние напряжения, и бетон начинает трещать и отслаиваться с оголением наполнителей.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 3 группы

3. Газы, образующие при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ растворимые продукты коррозии. Газы этой группы разделяются на две подгруппы.

Подгруппа А: Cl_2 , пары HCl , HBr , HI , CH_3COOH .

При взаимодействии с такими газами образуются растворимые соли.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 3 группы

Растворимые соли вымываются из бетона, в результате чего постепенно растёт пористость бетона и уменьшаются его несущие свойства. Кроме того, эти газы могут вызывать локальную коррозию арматуры с образованием объёмных продуктов даже при $pH=12-12,5$

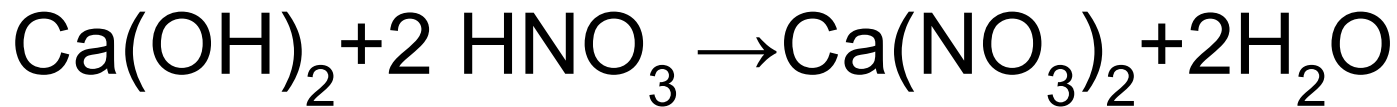
Т.о. газы этой подгруппы опасны как по отношению к бетону, так и по отношению к арматуре железобетона.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 3 группы

Подгруппа В: азотосодержащие газы
(NO_2 , NO , пары HNO_3)



Газы группы В опасны по отношению к бетону. По отношению к арматуре железобетона эти газы опасности не представляют, так как являются ингибиторами коррозии.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПОДЗЕМНАЯ КОРРОЗИЯ БЕТОНА И

ЖЕЛЕЗОБЕТОНА



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подземная коррозия бетона и железобетона

На агрессивность грунта по отношению к бетону и железобетону влияют несколько факторов.

1) Влажность грунта.

Грунт подразделяется на сухой. Нормальный и влажный. Сухой грунт встречается редко и опасности не представляет. Нормальный и влажный грунт приводит к увлажнению бетона и железобетона. В поровой влаге растворяются компоненты грунта и начинают взаимодействовать с цементным камнем и арматурой.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подземная коррозия бетона и железобетона

- 2) Агрессивность грунтовых вод (прежде всего их pH):
- а) озёрные грунтовые воды ($\text{pH}=6,5-7,4$)- низкая коррозионная активность;
 - б) речные грунтовые воды ($\text{pH}=6-8,2$) – средняя коррозионная агрессивность;
 - в) грязные речные, болотные воды ($\text{pH}=6-8,2$) – высокая агрессивность грунта.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подземная коррозия бетона и железобетона

3) Периодичность подъёмов грунтовых вод.

При подъёме (опускании) грунтовых вод создаются условия вымывания компонентов из цементного амня со всеми вытекающими последствиями: повышением пористости бетона, нейтрализации бетона, коррозией арматуры и растрескиванием бетона вдоль арматуры.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подземная коррозия бетона и железобетона

- 4) Наличие фильтрации грунтовых вод через бетон.
- 5) Солевой состав грунта, прежде всего концентрацией ионов SO_4^{2-} Cl^- , которые, попадая в бетон, начинают взаимодействовать с составляющими цементного камня.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Подземная коррозия бетона и железобетона

6) Подземная коррозия железобетона может осложняться электрокоррозией. Влажный бетон плохо, но всё-таки проводит ток, поэтому утечки тока или блуждающий ток может попасть на арматуру железобетона.

Усиленная коррозия арматуры нижней части здания приводит к потере несущих свойств фундамента, здание оседает, растрескивается и рассыпается.