



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.: Metallurgiya, 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 ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- Соли ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ );
- Гашеная известь ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), 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 С-Н)

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

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

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

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

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



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

$V_{кор}$

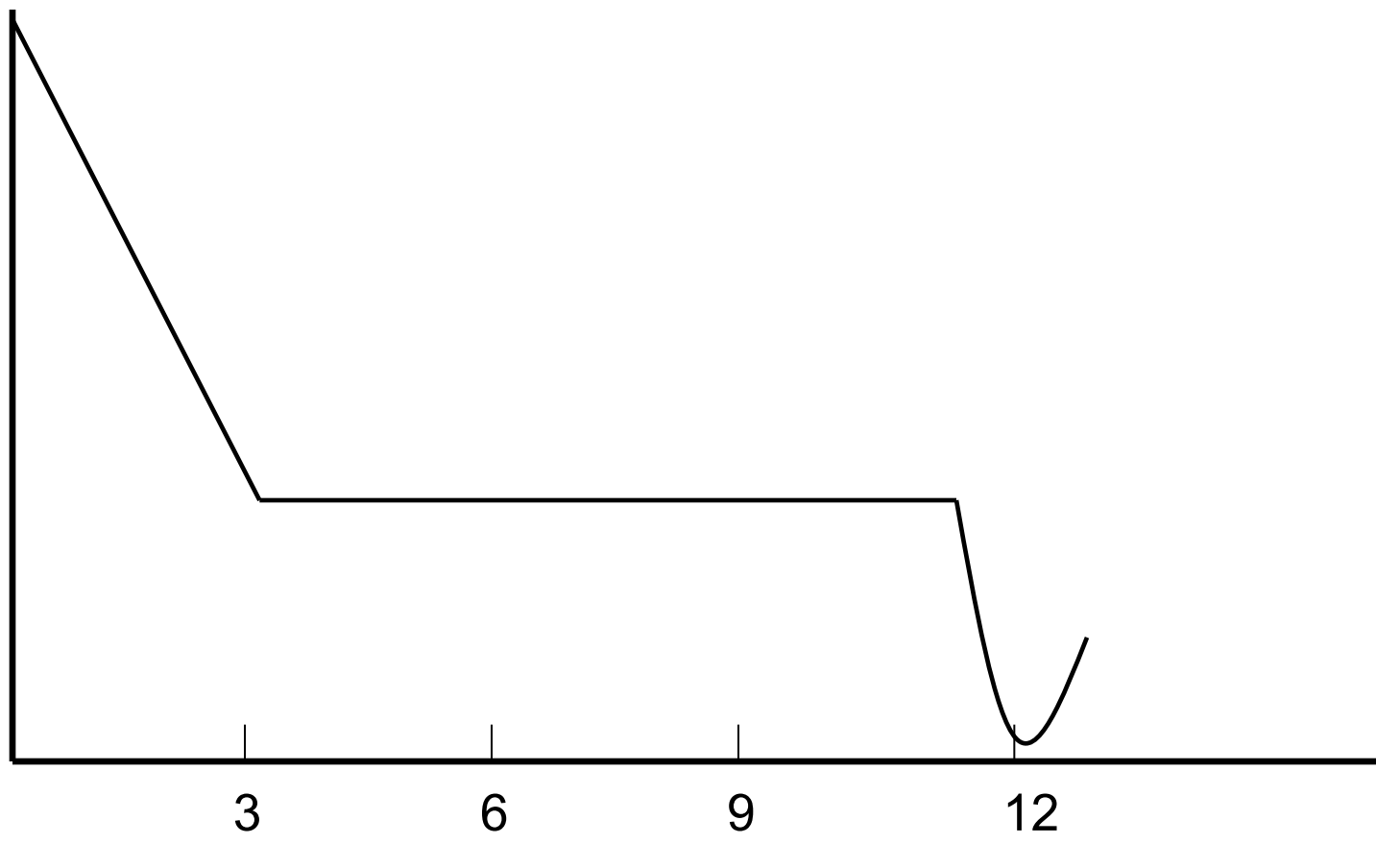


Рис. 1 Зависимость скорости коррозии железа от pH среды



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.

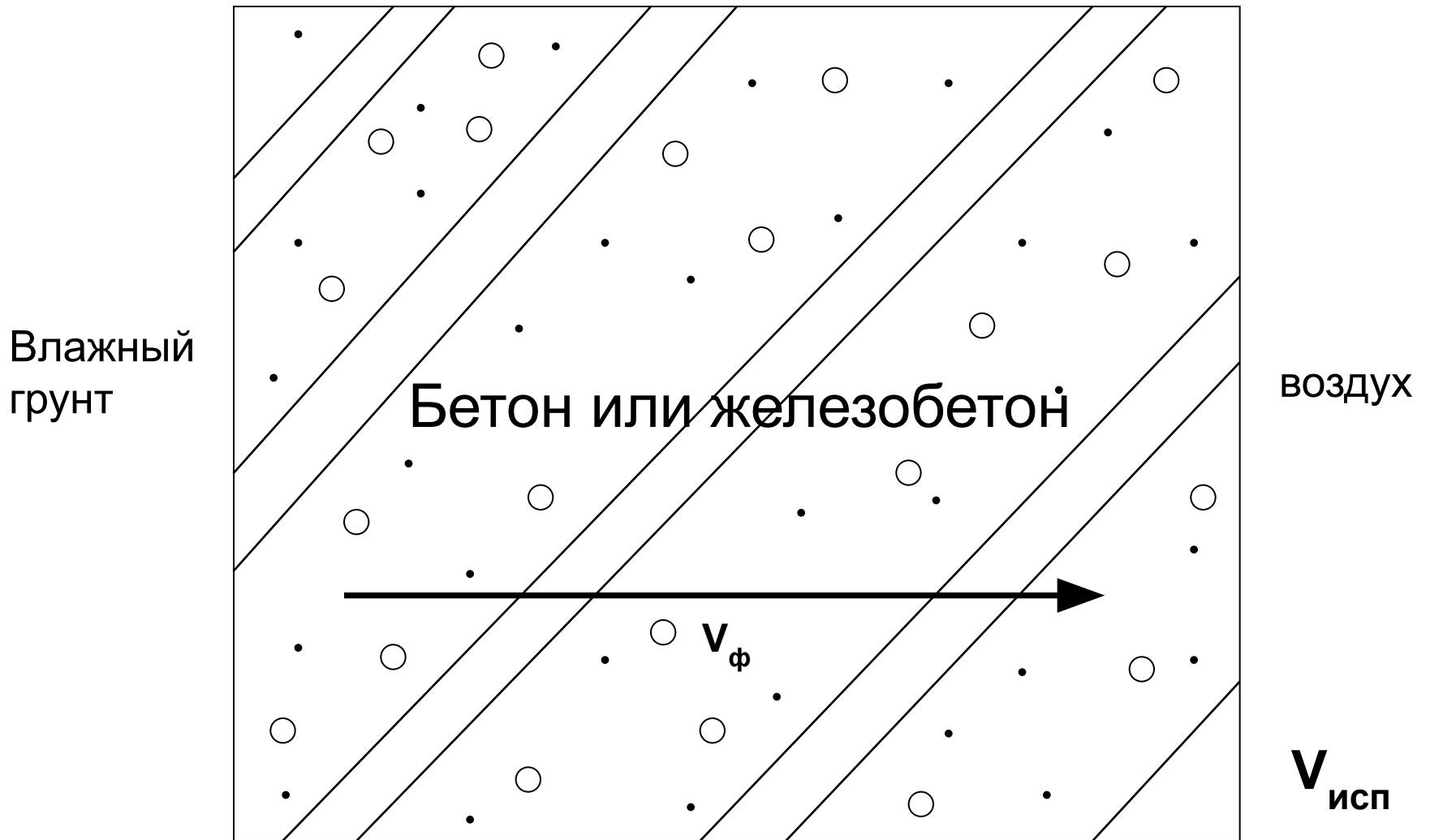


Рис. 5.1 Схема напорного сооружения

$V_{\text{ф}}$  - 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

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 рН** 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

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  $pH < 3-4$  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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

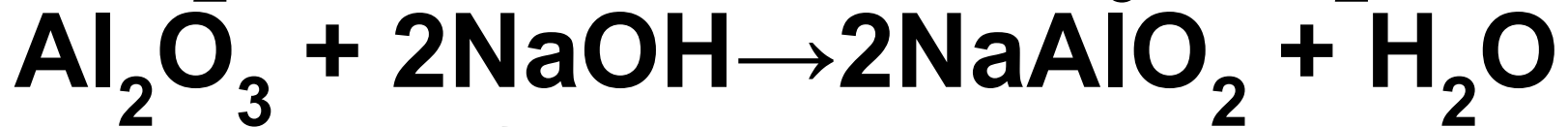
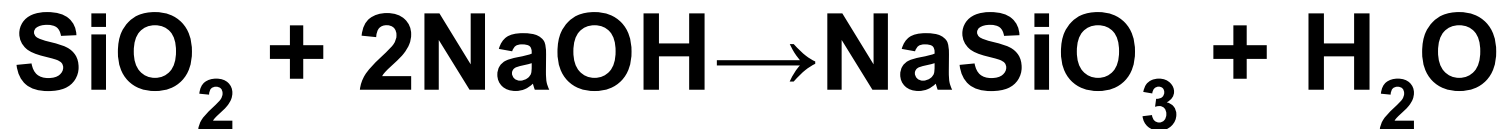
Для бетона опасны растворы щелочей с концентрацией более 50 г/л, которые начинают взаимодействовать с некоторыми составляющими цементного камня ( **$\text{SiO}_2$**   
 **$\text{Al}_2\text{O}_3$** )



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

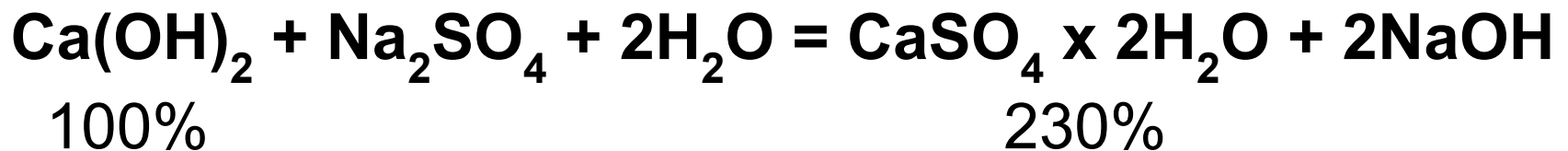
- Раствор NaCl попадая в поры бетона взаимодействует с наиболее активной его составляющей известью.
- $\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{NaOH}$
- В результате этой реакции получаются **растворимые** продукты коррозии, они вымываются, растёт пористость бетона и бетон 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.



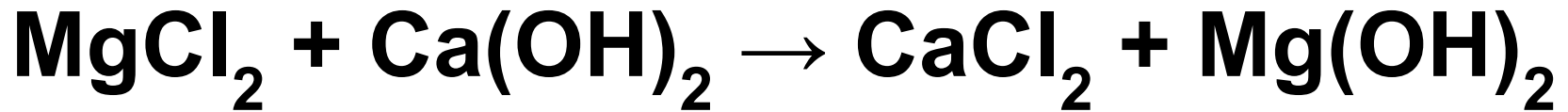
В бетоне появляются высокие внутренние напряжения, он растрескивается и отпадает



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Магнезиальная коррозия

- В сточных и грунтовых водах часто встречаются соли магния, в частности хлорид магния ( $\text{MgCl}_2$ )



- $\text{Mg(OH)}_2$  – 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** :

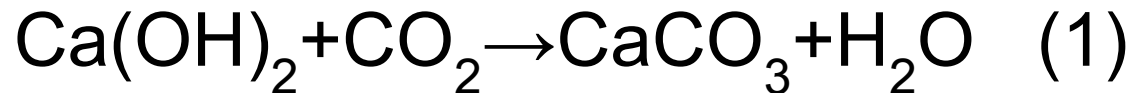
1. Газы, образующие при реакции с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , **нерастворимые** или **малорастворимые соли** с небольшим объёмом. Это  $\text{CO}_2$ , пары плавиковой кислоты, пары щавелевой кислоты, т.д. Наиболее часто на практике встречаются атмосферы с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$ ,



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Атмосферная коррозия бетона и железобетона

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



Образующийся по реакции мел  $\text{CaCO}_3$  по объему лишь на 30% больше исходной извести  $\text{Ca(OH)}_2$ , 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, рН внутри бетона снижается с 12,5 до 11,5.

Эта нейтрализация может идти долго (30-50 лет) в зависимости от концентрации  $\text{CO}_2$  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

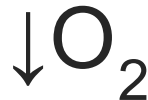
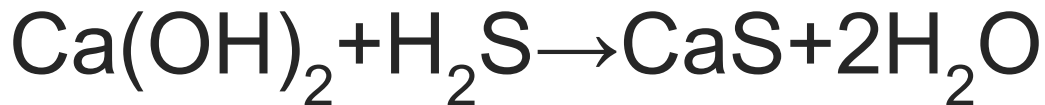
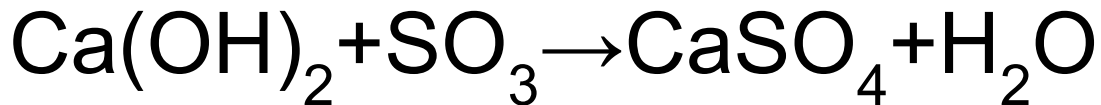
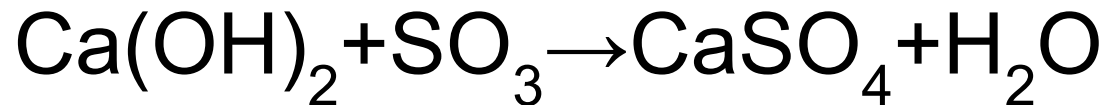
2. Газы, образующие при реакции с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нерастворимые объемные продукты коррозии. Это серосодержащие газы  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .



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:  $\text{CaSO}_4$  – 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 трескаться 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:  $\text{Cl}_2$ , пары  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

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  $pH=12-12,5$

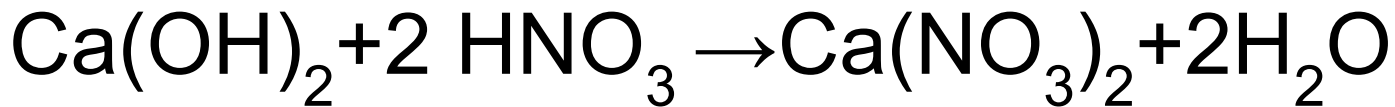
Т.о. газы этой подгруппы опасны как по отношению к бетону, так и по отношению к арматуре железобетона.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Атмосферная коррозия бетона в присутствии газов 3 группы

Подгруппа В: азотосодержащие газы  
( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ , пары  $\text{HNO}_3$ )



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 рН):
- а) озёрные грунтовые воды (рН=6,5-7,4)- низкая коррозионная активность;
  - б) речные грунтовые воды(рН=6-8,2) – средняя коррозионная агрессивность;
  - в) грязные речные, болотные воды (рН=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 камня 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  $SO_4^-$   $Cl^-$ , которые, попадая в бетон, начинают взаимодействовать с составляющими цементного камня.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Подземная коррозия бетона и железобетона

б) 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.