



# Основы коррозии и защиты металлов

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



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# 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., 2010- 376 с.
2. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: Учеб. пособие. /Н.П. Жук. - М., Metallurgia, 1976. – 472с.: ил.3.
3. **Лихачев В. А. Коррозия и защита металлов [Текст]: учеб. пособие / В. А. Лихачев; ВятГУ, ХФ, каф. ТЭП. - Киров: [б. и.], 2010. - 68 с.**
4. **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

## Определение

**Химической коррозией**  
называется самопроизвольный  
процесс разрушения металлов под  
действием ***сухих газов и***  
***неэлектролитов***, при котором  
окисление металла и  
восстановление окислителя  
протекают в виде ***одной***  
***гетерогенной химической***



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Виды химической коррозии

# Химическая коррозия

Газовая коррозия

Топочные газы

Сухой воздух

Коррозия в не электролитах

Органические  
жидкости

Нефть и  
продукты её перегонки



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Химическая коррозия

- Основная реакция химической коррозии



- Скорость химической газовой коррозии зависит от **свойств** получающихся **продуктов коррозии**.
- Свойства оксида, в свою очередь определяются **температурой, составом газовой среды и природой металла**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Влияние температуры и состава коррозионной среды на газовую коррозию Ст3

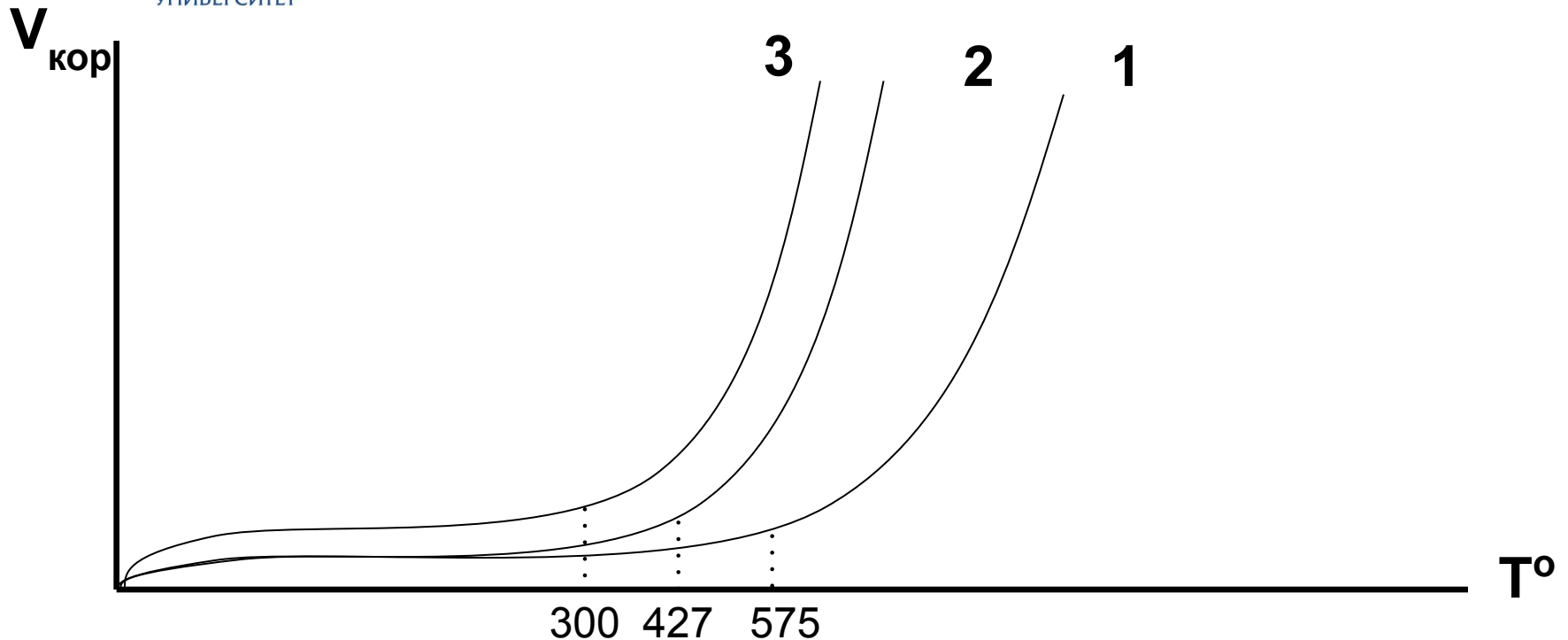


Рис.1.1 Поведение железа в условиях химической коррозии

- 1 - железо в чистом воздухе
- 2 - железо в чистом воздухе с 5% парами воды.
- 3 - железо в воздухе+пары воды + 0,02% серосодержащих газов( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ )



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Поведение железа и углеродистых сталей при химической коррозии

- Таким образом **железо, углеродистые и низколегированные стали** в условиях химической коррозии необходимо защищать при температуре выше **300°C**.
- **300°C** – реальная температура окалинообразования железа.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Определение

**Электрохимической коррозией**  
называется **самопроизвольный**  
процесс разрушения металлов под  
действием **электролитов**, при  
котором окисление металла и  
восстановление окислителя  
протекают в виде **двух**  
**сопряженных электрохимических**  
**реакций**



# Сопряженные реакции электрохимической коррозии

- Сопряженные электрохимические реакции это:

- 1. Катодная (катодные) – восстановление окислителя или окислителей, присутствующих в коррозионной среде;**
- 2. Анодная (анодные) – окисление металла с получением разнообразных продуктов коррозии**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Распространенность электрохимической коррозии

**Электролит** – любая электропроводящая жидкость. В строительной практике это **вода и любые водные растворы и взвеси** (кислоты, щелочи, растворы солей, грунт и т.д.)

Чтобы узнать есть ли электрохимическая коррозия - нужно ответить на вопрос: есть ли электролит на поверхности металла в рассматриваемых условиях.

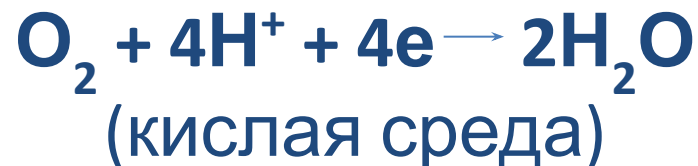
Электрохимическая коррозия в строительной практике встречается **повсеместно** (атмосферная, подводная, грунтовая коррозии).



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Окислители, вызывающие электрохимическую коррозию

Растворенный в электролите кислород самый  
распространенный окислитель



или



(нейтральная или щелочная среда)

Коррозия под действием растворенного  
кислорода называется **коррозия с  
кислородной деполяризацией**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Окислители, вызывающие электрохимическую коррозию

Ион водорода или вода также могут вызывать  
электрохимическую коррозию



или



Коррозия под действием ионов водорода или воды,  
сопровождающаяся выделением молекулярного  
водорода называется **коррозия с водородной  
деполяризацией.**

Для **сплавов железа** наблюдается в кислых  
коррозионных средах с **pH < 3**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Анодные реакции электрохимической коррозии

$Me - ne$

Гидратированные катионы  $[Me(H_2O)]^{ne+}$

Комплексные соединения  $[Me(K_n)]^{m+}$ ,  $[Me(K_n)]^{m-}$

Оксиды и гидроксиды  $MeO$ ,  $Me(OH)_2$

Сложные анионы металла  $MeO_2^-$ ,  $MeO_2^{2-}$

Труднорастворимые соли  $MeA$



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Поведение железа в условиях электрохимической коррозии

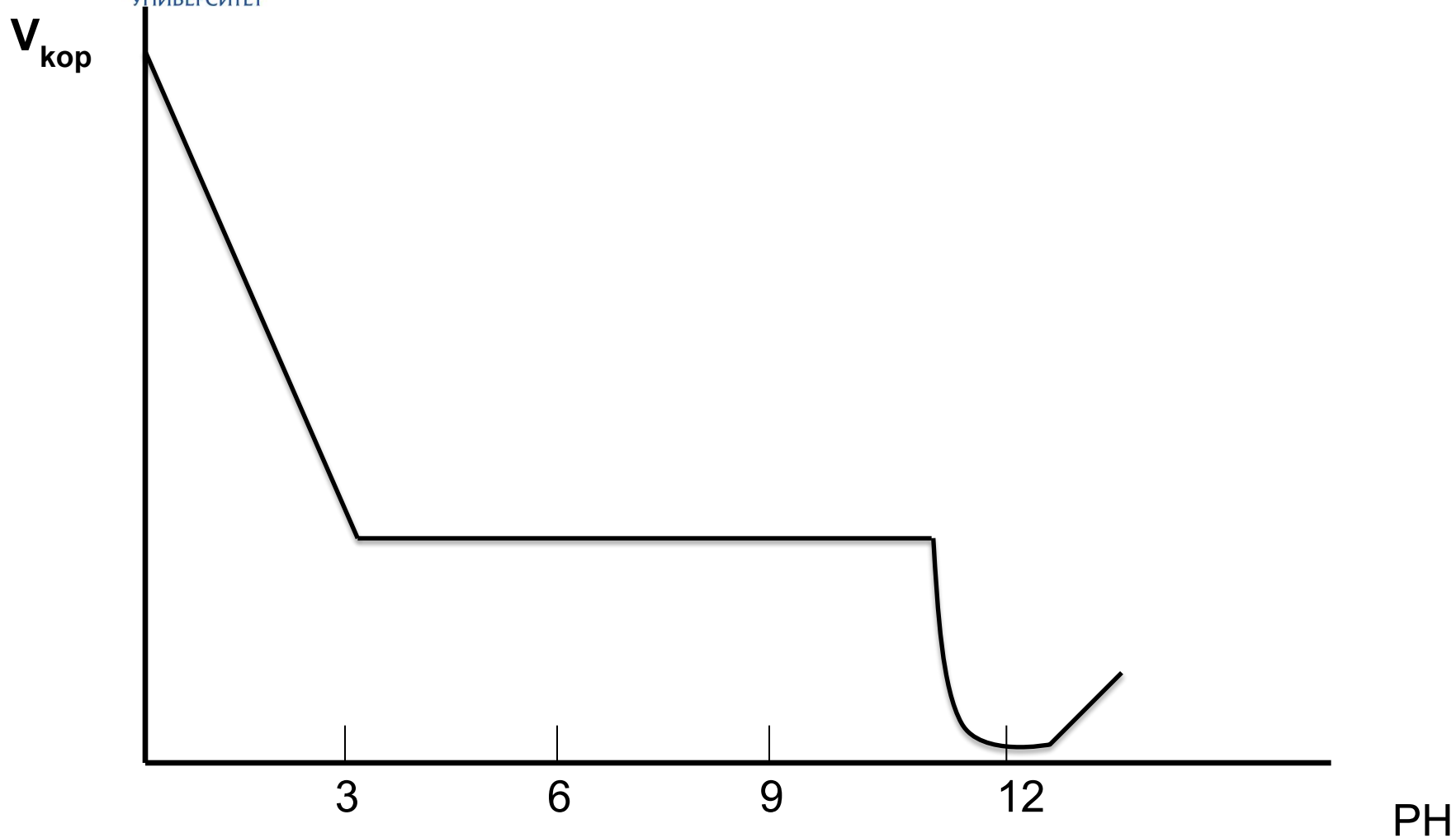


Рис. 1.2 Зависимость скорости коррозии железа от pH среды



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Поведение железа и его сплавов в условиях электрохимической коррозии

- Железо, углеродистые и низколегированные стали в условиях электрохимической коррозии необходимо защищать во всех средах, кроме слабощелочных с рН от 11,5 до 13.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Классификация методов защиты от коррозии

- 1. Изменение природы конструкционного материала с целью повышения стойкости**
- 2. Изоляция материала от коррозионной среды (использование всевозможных защитных покрытий)**
- 3. Обработка коррозионной среды с целью понижения коррозионной агрессивности**
  - удаление наиболее активных компонентов
  - введение замедлителей (ингибиторов)
- 4. Изменение условий коррозии**
  - электрохимическая защита для металла (меняем потенциал – меняем условия коррозии)
  - рациональное конструирование (форма и материал)

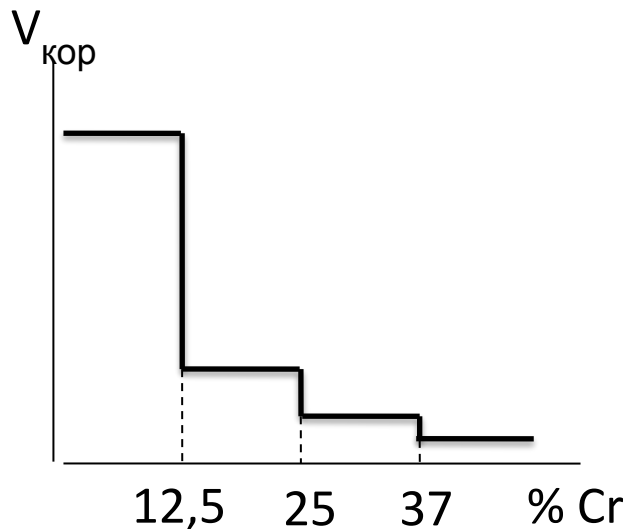




ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Коррозионностойкое легирование.

Главный элемент коррозионностойкого легирования – Cr  
Легирование осуществляется в соответствии с правилом Таммана



**Правило Таммана:**  
Коррозионная стойкость сплава с ростом содержания легирующего компонента меняется не плавно, а скачками. Скачки наблюдаются при достижении концентрации легирующего компонента равной  $n/8$  атомной доли ( $n=1, 2, 3, 4 \dots$ )

Концентрацию хрома берут  $\geq 13\%$ , т.к. часть хрома идет на карбидообразование.



## Коррозионностойкие (нержавеющие) стали

10X13 и 20X13, 12X17T – **хромистые** стали.

Общая коррозия существенно снижается, но стали склонны к локальным формам коррозии (питтинговой, язвенной, межкристаллитной)

Второй по важности легирующий элемент - **Ni** (никель).

Позволяет существенно увеличить стойкость стали к локальным формам коррозии. Лучшее соотношение **Cr : Ni - 18 : 9** или

**18 : 10**. Такое соотношение обеспечивает наряду с высокой коррозионной стойкостью сталей хорошие технологические и механические характеристики.

**Хромникелевые** стали наиболее распространенный вид нержавеющих сталей. Стали аустенитные (не магнитятся).

Примеры: **08X18H9T, 12X18H9T, 07X21Г7АН5, 09X15H8Ю**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Коррозионностойкие стали

Mo (молибден) – вводится в количестве 2-3%, повышает стойкость стали в кислых средах и в хлоридах. При введении Mo необходимо повышение содержания Ni, из-за этого стали дорогие.

10X17H13M3T      Ниобий (Б) и титан (Т) вводят  
08ХН23МБ    для уменьшения межкристаллитной  
коррозии.

Си (медь) – 2-3%, повышает стойкость стали в кислотах. Это катодная присадка.

При введении меди для сохранения аустенитной структуры также требуется повышения высокого содержания Ni.

08X23H28M3Д3Т – работают в горячих растворах кислот  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , но в  $HCl$  стоят плохо.



## Защитные покрытия по металлу.

### Классификация.

- 1) Органические
- 2) Неорганические
- 3) Металлические
- 4) Покрытия соединениями защищаемого металла
- 5) Композиционные покрытия

#### Органические

- ЛКП
- Битумные
- Полимерные
- Комбинированные
- Консервационные масла и смазки



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Лакокрасочные покрытия

- **Лакокрасочные покрытия (ЛКП)**, как и любые другие покрытия (битумные, полимерные) – это **система слоев**, обеспечивающая надежную защиту металла от коррозии.
- Лакокрасочные покрытия выполняются на **основе лакокрасочных материалов (ЛКМ)**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Лакокрасочные материалы

Отечественная и зарубежная промышленность выпускает 6 видов лакокрасочных материалов

- 1) Грунтовка** – специальный ЛКМ с хорошим сцеплением к основе и последующим слоям.
- 2) Шпатлевка** – ЛКМ для выравнивания поверхности.
- 3) Краска** – ЛКМ дающий после высыхания матовую поверхность.
- 4) Эмаль** – ЛКМ, позволяющий получить после высыхания блестящую поверхность или поверхность с текстурой
- 5) Лак** – ЛКМ, позволяющий получать прозрачную бесцветную или окрашенную пленку, иногда черную блестящую.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Механизмы защиты с помощью ЛКП

Лакокрасочное покрытие (ЛКП) защищает металл от коррозии за счет 2-х основных механизмов защиты:

- **Адгезионный механизм защиты**. Сущность в том, что ЛКП затрудняет образование **новой фазы** – продуктов коррозии – на границе раздела металл – покрытие. Механизм работает, если покрытие хорошо сцеплено с основой.
- **Барьерный механизм защиты**. Сущность – ЛКП изолирует металл от коррозионной среды. Механизм работает, если в покрытии нет никаких дефектов (в том числе микродефектов – микропор и микротрещин)



## Технология получения качественных ЛКП

Качество ЛКП определяется сроком его службы :

- До 5 лет – плохое;
- До 10 лет – хорошее;
- 15 лет и выше – отличное.

Чтобы получить качественное лакокрасочное покрытие, необходимо обеспечить **хорошую адгезию** его и **отсутствие** в нем **дефектов**.

Хорошая адгезия достигается:

1. Качественной подготовкой металла под покрытие. Наиболее высокое качество сцепления получается на чистом металле.
2. Применением в качестве первого слоя – слоя грунтовки.





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Подготовка металла под покрытия

На 70% качество ЛКП зависит от качества подготовки металла под покрытие

На металле всегда присутствует 2 вида загрязнений:

1. Жиры, пыль, грязь;
2. Продукты естественной коррозии (ржавчина, оксидные пленки).

Существуют два метода удаления, присутствующих на металле, загрязнений:

1. Механический;
2. Химический;



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Механический способ подготовки металла под покрытие

Механический способ подготовки металла под покрытие удаляет оба вида поверхностных загрязнений и считается более эффективным. В практике используется 3 основных вида механической обработки металла.

- 1) **Шлифование** (обработка наждачными кругами, наждачной бумагой, напильником и т.д.)
- 2) **Крацевание** (обработка металлическими щетками)
- 3) **Обработка летящим абразивом** (пескоструй, гидropескоструй, дробеструй и т.д.)



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Химический способ подготовки металла под покрытие

Протекает в две стадии:

1. удаление жиров, пыли, грязи;
2. Удаление естественных продуктов коррозии.

Удаление жиров, пыли, грязи.

- Растворителями(бензин, керосин, уайт – спирт и т. д.)
- Применением моющих средств (на основе соды)

Удаление ржавчины:

- С помощью кислотных составов с ингибиторами коррозии.
- С помощью преобразователи ржавчины (ПР) или, модификаторов ржавчины (МР).



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Преобразование и модифицирование ржавчины

- ПР и МР в своем составе содержит фосфорную кислоту ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), которая преобразуют оксиды в более плотные упорядоченные фосфаты.
- ПР и МР составы можно применять только для не застарелой или очень небольшой ржавчины или в комбинации с механической обработкой.

Считается, что качество подготовки при применении составов ПР и МР получается хуже, чем при полной очистке металла.



## Многослойность ЛКП – обязательное условие его качества

**Барьерный механизм защиты** может быть реализован только в том случае если лакокрасочное покрытие будет **многослойным**.

- 1 слой - **грунтовка** является **решающим** слоем в системе ЛКП, работает на адгезионный и барьерный механизм защиты.
- 2 слой - эмаль или краска, снижается сквозная пористость.
- 3 слой – эмаль или краска, снижается сквозная пористость.

При получении ЛКП с длительным сроком службы (15-20 лет) количество слоев увеличивается до 4-5.



## Выбор ЛКМ

Группа ЛКМ	Обозначение по ГОСТ 9.032-74	Обозначение по СНиП 2.03.11-85
1) Грунтовка	0	-
2) Шпатлевка	00	-
3) Атмосферостойкий ЛКМ вне помещений	1	а
4) Атмосферостойкий ЛКМ внутри помещений	2	п
5) Водостойкие	4	в
6) Маслобензостойкие	6	м
7) Химическистойкие	7	х
• в кислотах	7/2	хк
• в щелочах	7/3	хщ
8) Термостойкие	8	т



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Битумные (мастичные) покрытия

**Битумные** покрытия во многом напоминают ЛКП и с успехом их дополняют в условиях подземной и подводной коррозии. Для нанесения **качественного** битумного покрытия необходимы:

- Хорошая подготовка металла под покрытие
- Нанесение покрытия в несколько слоев.

По количеству наносимых слоев битумные покрытия делятся:

1. Нормальные;
2. Усиленные;
3. Весьма усиленные



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Нормальное битумное покрытие

**Нормальное** битумное покрытие наносится в 2 слоя:

1 слой – битумная грунтовка;

2 слой – битумная мастика.

Общая толщина нормального битумного покрытия до 3 мм.

При использовании холодной битумной мастики возможно нанесение 3-его слоя (покровный слой) из подручных материалов (оберточная бумага, битумная бумага, полиэтиленовая пленка) предотвращающего стекание холодной битумной мастики.

**Нормальное** битумное покрытие склонно к **растрескиванию**, поэтому более широко используются усиленное и весьма усиленное





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# 1 слой битумного покрытия

## Битумная грунтовка

Заводского  
изготовления  
(праймер) ГТП-821,  
ГТ-760 ИН и т.д.

Изготовление на  
строительной площадке  
**Раствор** битума в  
бензине в соотношении  
**1:3**



# Состав битумной мастики

## Битумная мастика

### Горячая

(Теплое время года)

Битум (80%)

Наполнители  
20 %

Порошковый (13-15%)  
Доломитовая мука,  
Известковая мука,  
Мелкий песок

Объемный (5-7%)  
Резиновая крошка,  
Асбест,  
Полимерная сечка

### Холодная

(Холодное время года)

Битум  
(75%)

Наполнители  
(20%)

Пластификатор  
(5-7%)

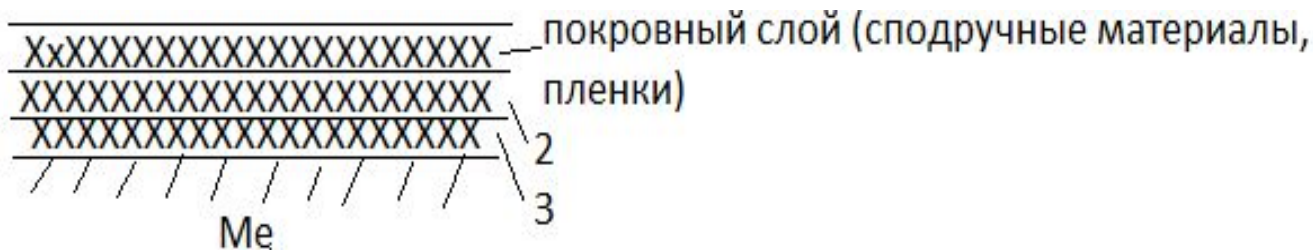
Любое масло  
(например зеленое),  
Отработка масел.



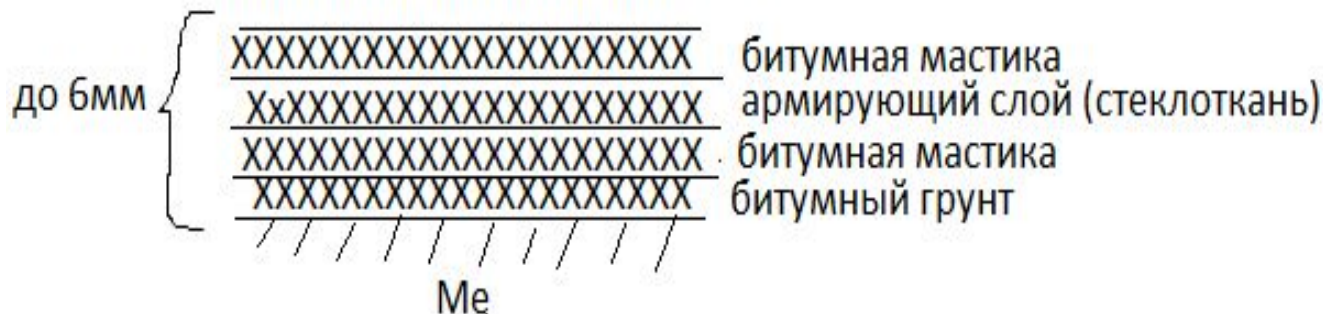
ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Конструкция битумных покрытий

### Нормальное битумное покрытие



### Усиленное битумное покрытие



Весьма усиленные отличаются дополнительным армирующим слоем и слоем битумной мастики и толщина такого покрытия может быть до 9мм.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## **Достоинства и недостатки битумных покрытий**

**Достоинства:** Хорошее сцепление, не дорогие

**Недостатки:** нетехнологичны; недостаточная влагостойкость; не очень высокая биостойкость; склонны к продавливанию; со временем стареют.

Срок службы мастичных покрытий составляет 10 – 15 лет

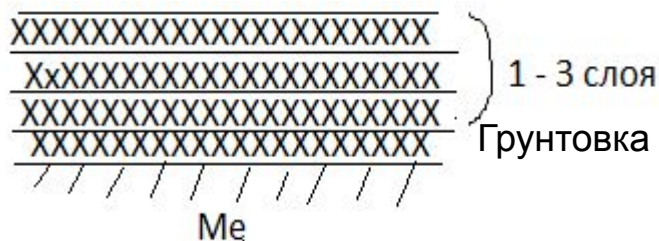


## Полимерные покрытия

Бывают двух видов

- Трассовые
- Заводские

**Трассовые** покрытия выполняются на основе полимерных липких лент – это тонкие липкие ленты толщиной 40-60 мкм. В качестве полимеров может быть полиэтилен, поливинилхлорид, кремнеорганические соединения.



Два условия получения качественного покрытия

1. Хорошая адгезия : качественная подготовка металла, битумная грунтовка;
2. Надежный барьер. Многослойность покрытия грунтовка + полимерная липкая лента в 1 – 3 слоя (в зависимости от условий эксплуатации).



## Заводские полимерные покрытия по металлу

**Заводские покрытия** из различных полимеров наносятся на трубы на заводе в расплавленном виде экструзией, Качество получаемого покрытия значительно выше (сцепление, водостойкость).

На трассе необходимо дополнительно защищать места стыка (места сварки).

Место сварки крацуется, грунтуется, затем наносится полимерная липкая лента в 3 слоя или защита осуществляется с помощью **термоусадочных муфт** – это часть полимерной трубы, которую натягивают на место стыка и обрабатывают газовой горелкой.



## Металлические покрытия по металлу

Классификация:

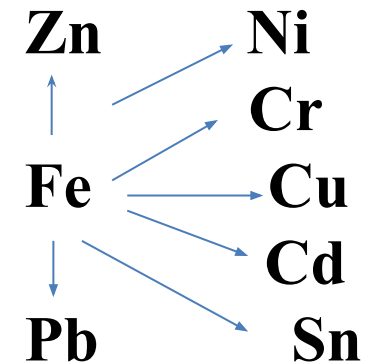
- Из одного металла
- В виде сплавов
- Многослойные
- Композиционные металлические покрытия

У металлических покрытий в сравнении с органическими более высокая механическая прочность, они более декоративны.

Часто применяются, как защитные - декоративные.

**Металлические покрытия из одного металла**

**делят на катодные и анодные.**





## Металлические покрытия

**Катодные** – это покрытия, у которых потенциал металла покрытия более положительный, чем металла основа. Катодные покрытия защищает металл только **механически**. Для **железа** к ним относятся Ni, Cr, Cu, Sn, Pb. Эффективность защитного действия катодного покрытия не высока и оно защищает металл основы только в том случае, если в нем нет пор.

**Анодные** – это покрытия металлом более отрицательным по потенциалу, чем металл основы. Они защищают основу не только **механически**, но и по принципу **протекторной защиты**: Zn на Fe, Cd на Fe в условиях морской коррозии, когда его потенциал смещается и становится отрицательнее Fe. Анодным покрытием является Sn на Fe, в органических кислотах в отсутствии кислорода.





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Металлические покрытия

Основное металлическое покрытие, широко применяемое в машиностроении и строительстве – это **Zn**.

Наносится: горячим способом, гальваническим цинкованием.

Преимущества: надежная защита, особенно при атмосферной коррозии, в том числе электрохимическая; высокие механические характеристики, красивый декоративный вид.

Брак: **белая ржавчина**;

**Холодное цинкование**: гальванол, цинканол (разновидность ЛКП с дополнительной протекторной защитой, но проще в технологии, чем горячее и гальваническое цинкование).

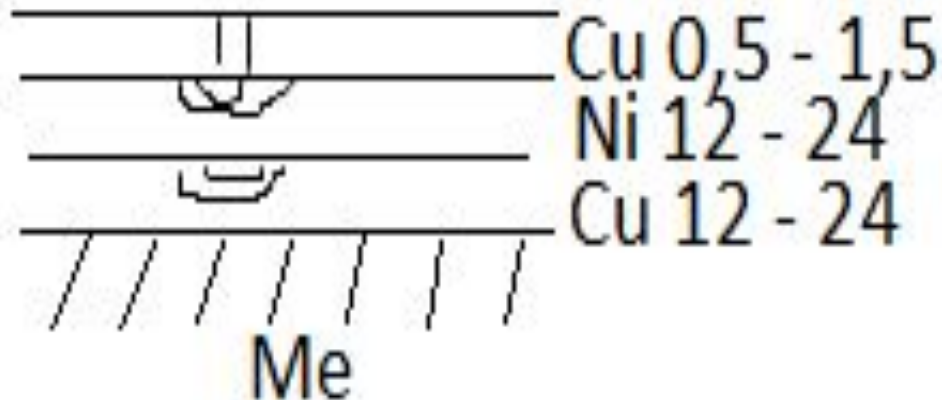


ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Многослойные покрытия

Для повышения защитных свойств катодных покрытий их часто делают **многослойными**. Такие покрытия применяются давно и самым распространенным многослойным покрытием является **Cu – Ni – Cr**. Это защитно-декоративное покрытие. Оно имеет хороший внешний вид и сохраняет его длительное время.

Рассмотрим как защищает железо такое покрытие: исходим из того, что из-за многослойности сквозной пористости в покрытии нет, однако в тонком слое хрома их много. Поэтому при попадании электролита на изделие начинает работать пара **Ni – Cr**, в которой более активным металлом является **Ni**.





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Коррозия покрытия **Cu – Ni – Cr**

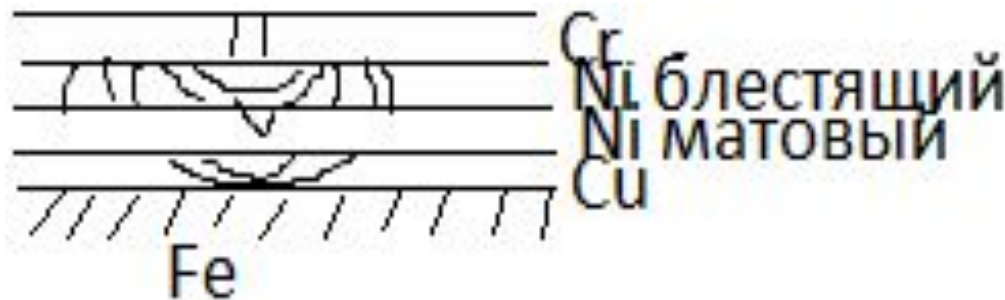
- Коррозионный очаг в никелевом слое распространяется по сфере под порой в слое **Cr**.
- Как только сфера доходит до слоя меди, начинает корродировать контактная тройка металлов **Cu – Ni – Cr**, в которой наиболее отрицательным металлом является **Cu**.
- Поэтому коррозионный очаг также по сфере начинает развиваться в слое **Cu**. Причем продукты коррозии и **Ni**, и **Cu** не объемные и внешне на детали коррозия не проявляется.
- Как только сфера доходит до **Fe** считается, что защитное действие покрытия закончилось, начинает корродировать железо с образованием объемных продуктов.
- Т.о. защитная способность покрытия **Cu – Ni – Cr** обеспечивается толщиной слоев **Ni** и **Cu**



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Коррозия многослойных покрытий

- В результате появились более сложные многослойные покрытия, обеспечивающие более длительную защиту Fe от коррозии при таком же расходе Cu, Ni, и Cr на покрытие, например покрытие **Би-никель**.

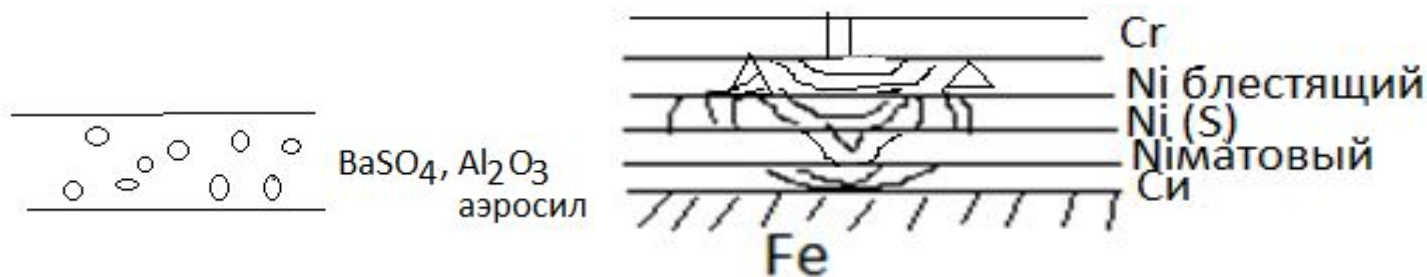


- Коррозия покрытия Би-никель тормозится на стадии коррозии никеля матового в связи с чем такое покрытие служит дольше.

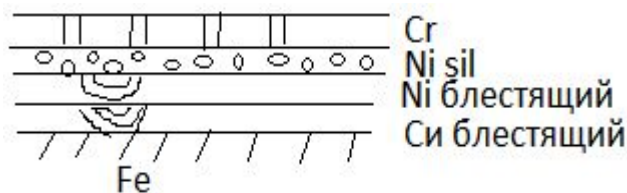


ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Защитная способность многослойных покрытий



### Биникель



Триникель (Ni(S) – самый активный слой)

Торможение коррозии идет на стадии Ni с высоким содержанием S и Ni блестящего.

Сил-никель – композиционные Ni покрытие, которое имеет матрицу Ni и дисперсную фазу: ( $BaSO_4$  или  $Al_2O_3$ ). При силникеле Cr получается с большим количеством пор, коррозия протекает по сферам без торможения во всех слоях покрытия, но в большом количестве пор плотность тока в каждой поре не велика и сферы растут медленно. При использовании сил-никеля процесс коррозии **делокализуется** по всей поверхности.



## Защита сплавами

Иногда сплавы защищают от коррозии лучше, чем покрытие из одного металла.

Это обеспечивается: 1) более **надежной пассивацией** сплавов в условиях атмосферной коррозии (например бронзы пассивируются лучше, чем медь,

2) **смещением потенциала покрытия** в положительную сторону.

**Zn – Cd**

**Zn – Pb**

**Zn – Ni**

**Zn – Sn**

легирующие элементы обеспечивают смещение потенциала в положительном направлении, анодный характер покрытия сохраняется, но контактная пара работает менее активно.

3) Второй элемент сплава работает как **катодная присадка**, способствуя пассивации основного металла покрытия (Ni-Pd)



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Покрyтия соединениями защищаемого металла (Конверсионные покpытия)

- Оксидные
- Фосфатные
- Хроматные

Привлекают своей простотой, наносятся химическим способом – окунанием в ванну. Используется эффект пассивации металла. К сожалению, из всех конверсионных покpытий идет удаление воды (дегидратация), в результате чего повышается их пористость. Поэтому такие покpытия часто используют в комбинации со смазками (маслами). Хроматные покpытия используются в комбинации с металлическими (хроматируется Zn, Cd), хроматной обработке подвергается анодированный Al)



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Композиционные покрытия

- Композиционные покрытия – это покрытия, содержащие в своем составе несколько фаз. (**Изоллат, Астратек, Броня**).

Примером может служить покрытие «Изоллат»

Марка	Свойства	Область применения
Изоллат-01	Водо-, паро-изолирующий <b>теплоизолятор</b>	Покрытие стен изнутри зданий, трубопроводов с охлажденным теплоносителем
Изоллат-02	Паропроницаемый теплоизолятор	Покрытие промышленного, котельного оборудования, водонагревателей, стен снаружи
Изоллат-03	Теплоизолятор с антипиреновыми добавками	Для объектов, где важно использовать негорючий материал
Изоллат-04	Теплоизолятор с температурой применения до 500 °С, негорючий	Трубопроводы с остроперегретым паром, другое промышленное оборудование





## Удаление наиболее активного компонента

К активным компонентам вызывающим электрохимическую коррозию и увеличивающим ее скорость являются:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др.

✓ Удаление  $\text{H}_2\text{O}$  - осушка атмосферы:

- Естественная вентиляция помещений;
- силикагель в замкнутом объеме (превращение электрохимической коррозии в химическую)
- навесы (при хранении техники)
- дренаж (с помощью канав при подземной коррозии)

✓ Удаление  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  :

- принудительная вентиляция
- замена грунта (кислого, засоленного)
- системы оборотного водоснабжения



## Ингибиторы коррозии

● **Ингибиторы коррозии** – это вещества замедляющие коррозию, но не изменяющие других физико – химических характеристик металла.

Обычно применять ингибиторы можно, когда объем коррозии среды ограничен.

Эффективность любого ингибитора может быть оценена:

### 1) коэффициентом торможения

$$y = \frac{K_0}{K_1}, \text{ где } K_0 - \text{показатель скорости коррозии без ингибитора}$$

$K_1$  – показатель скорости коррозии в присутствии ингибитора

### 2) степенью защиты

$$z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} 100\%$$



## Ингибиторы коррозии

Существует несколько классификаций ингибиторов.

- По механизму действия: **физические и химические**

1. **Физические** – механизм действия основан на физической адсорбции.

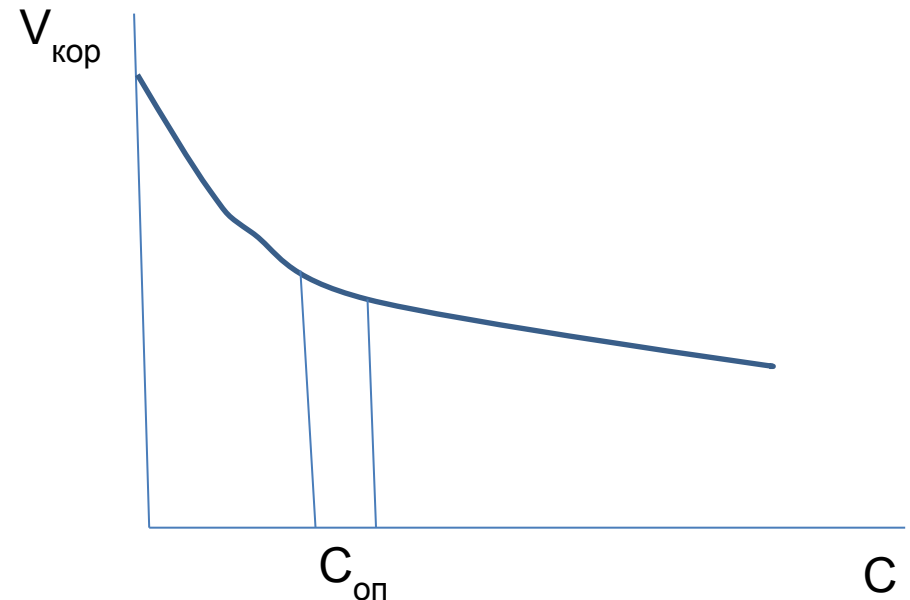
Адсорбция зависит от того, насколько близок  $E_{\text{тнз}}$  к  $E_{\text{кор}}$

Если  $E_{\text{тнз}} = E_{\text{кор}}$  то лучше всего адсорбируются нейтральные молекулы, если металл при  $E_{\text{кор}}$  заряжен «-», адсорбируются катионы, если заряжен металл имеет заряд «+» - анионы.

Физические ингибиторы делятся на:

- Органические катионы
- Нейтральные молекулы
- Органические анионы

Для физических ингибиторов характерно понятие – оптимальная концентрация ингибиторов.





## Ингибиторы коррозии

**2. Химические – ингибиторы**, вступают во взаимодействие с металлом или средой.

**2.1 Хемосорбционные** (механизм - хемосорбция)

**2.2. Окислители и пассиваторы** - вещества типа  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  хроматы. (Вещества, образующие оксидные или хроматные пассивные пленки)

**2.3. Образователи покровных пленок** (механизм основан на солевой пассивации – образуются труднорастворимые пленки –  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , карбонаты, фосфаты)

**2.4 Дестимуляторы** – вещества, поглощающие кислород из коррозионной среды -  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , гидразин -  $\text{N}_2\text{H}_4$

**2.5 Электрохимические ингибиторы** – повышают перенапряжение выделения водорода:  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$



## Ингибиторы коррозии

- Для химических ингибиторов: **окислителей, пассиваторов и образователей покровных пленок** существует понятие, критическая концентрация ингибитора ( $C_{кр}$ ), минимальная концентрация ингибитора, которая обеспечивают получение оксидной или пассивной пленки на всей поверхности металла.
  - Классификация по виду сред, в которых используются ингибиторы
    - ❖ Ингибиторы кислотной коррозии
    - ❖ Ингибиторы в нейтральных средах
    - ❖ Ингибиторы атмосферной коррозии
    - ❖ Ингибиторы щелочной коррозии



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Ингибиторы кислотной коррозии

## Ингибиторы кислотной коррозии

### Широко используются:

- 1) В процессах травления металла, при удалении с них ржавчины и окалины;
- 2) В техпроцессах, где используются кислоты для снижения коррозии оборудования;
- 3) При транспортировке кислот.

Ингибиторы должны не изменять скорости растворения окалины и ржавчины, а должны уменьшать скорость коррозии железа.

Для ингибиторов кислотной коррозии предложена шкала эффективности ингибитора. Монография С.М.Решетникова – ингибиторы кислотной коррозии металлов (Ленинград – Химия, 80г.)



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Ингибиторы атмосферной коррозии.

## Ингибиторы атмосферной коррозии.

- 1. Летучие** – легко переходящие в паровую фазу (легко испаряются, легко сублимируются). Механизм действия – это физические ингибиторы, органические легколетучие соединения. Чтобы применять летучие ингибиторы – нужно ограничить объем коррозионной среды (атмосферы). Применяются в комбинации с упаковочными материалами: раньше – битумная (черная) бумага, парафинированная бумага, сейчас – полиэтилен (герметизация обязательна).
- 2. Контактные ингибиторы.** Они наносятся кистью, мойкой, окунанием. Обычно это растворы химических ингибиторов – пассиваторов (образователей покровных пленок). Иногда наносятся в виде загущенных растворов.



## Примеры ингибиторов атмосферной коррозии

Марка	Название ингибитора	Способ применения	Универсальность
НДА	Нитрит дециклогексиламина	В виде раствора на пористом носителе, ингибированная бумага	Fe, Al, Ni, Co, Cr
Г2	Нитробензоат гексометиленамин	В виде раствора на пористом носителе, ингибированная бумага	Черные металлы (сталь, чугун), Al, Sb, Sn, Ni
БН	Бензоат натрия	Ингибированная бумага, смазочные масла	Черные металлы
КЦА	Карбонат циклогексиламина	Порошок (в мешочках), иногда вместе с НДА, водно-спиртовой раствор на пористом	Черные металлы, Pb, Al, Ni, Sn, Zn





## Способы применения ингибиторов.

- Введение ингибиторов в жидкую коррозионную среду в определенной концентрации.
- Изделия помещают в атмосферу, насыщенную парами ингибиторов (ингибированная бумага, мешочек, пористые носители Линосил и Линопоп).
- Продувка ингибированным воздухом больших полостей.
- Контактные ингибиторы (нанесение в виде пленки).
- Введение ингибиторов в смазочные масла, смазочноохлаждающиеся жидкости, смазки.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Изменение условий коррозии

- Под изменением условий коррозии понимают:
- **Рациональное конструирование** с целью снижения скорости коррозии, создаваемой конструкцией;
- **Электрохимическую защиту металлов**, при которой за счет изменения потенциала корродирующего металла снижается его скорость коррозии



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Рациональное конструирование

От вида конструкции скорость коррозии может меняться в несколько раз.

В каждой области существуют свои приемы рационального конструирования. Однако можно выделить несколько общих приемов рационального конструирования:

- Рациональный **выбор материала** для создаваемой конструкции.
- Учитывать возможность **контактной коррозии** (если конструкции выполняется из разных материалов)
- В конструкции нужно уменьшать количество **застойных зон** и зазоров.
- При сварке шва (лучше всего варить **менее активным**, т.е. более положительным, металлом)



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Рациональное конструирование

- По возможности сварной шов необходимо **отжигать**;
- Сварка – **в стык** предпочтительнее, чем внахлест;
- При создании химических аппаратов желательно предотвращать **локализованное поступление** жидкостей в реактор;
- Желательно, чтобы в реакторе или теплообменнике не было больших **перепадов температур**;
- Предотвращать **утечки тока** из реакторов;
- Предусматривать **методы защиты** конструкций от коррозии. (Чаще всего комбинацию методов).



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

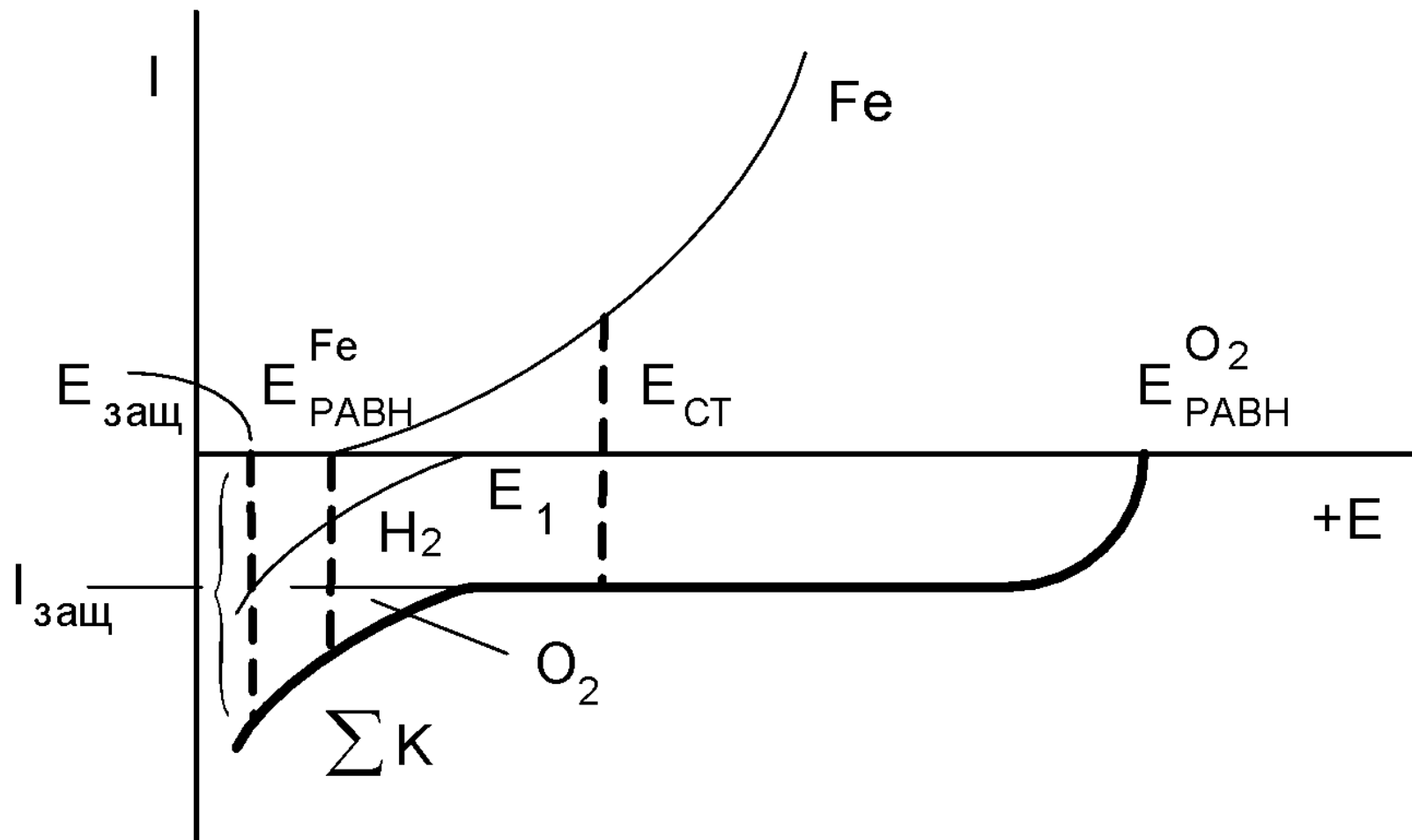
# Электрохимическая защита

- Используется трех видов:
  - Катодная;
  - Протекторная;
  - Анодная.
- 
- Катодная защита заключается в смещении потенциала металла корродирующей конструкции в **отрицательную сторону** за счёт присоединения его к **отрицательному полюсу** источника тока.



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

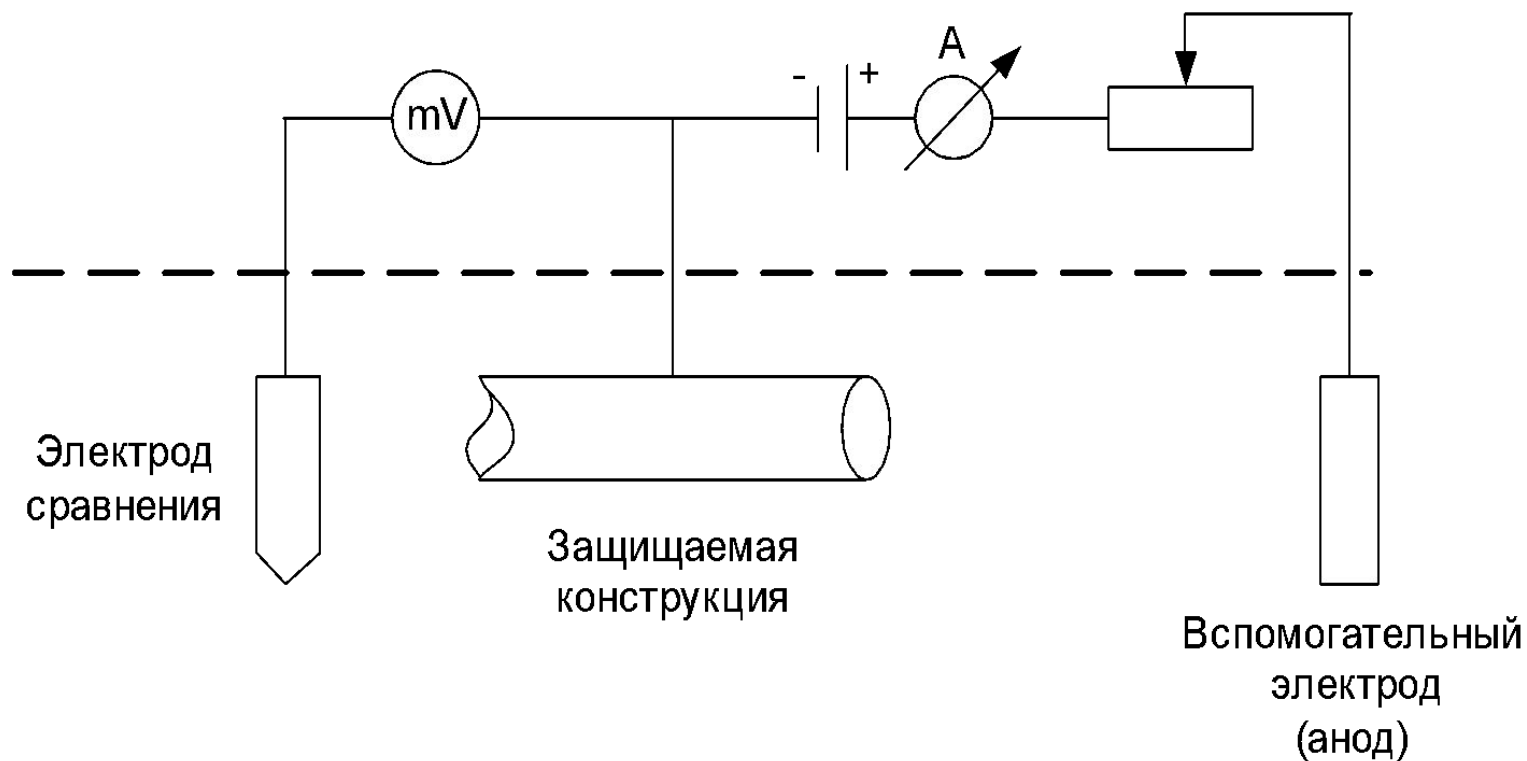
# Коррозионная диаграмма катодной защиты





# Катодная защита

## *Принципиальная схема катодной защиты*





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Катодная защита

- **Используется:** 1. Для защиты магистральных подземных трубопроводов;  
2. Для защиты оборудования при добыче нефти ( в частности для защиты обсадных колонн);  
3. Для защиты от морской коррозии (платформы, трубопроводы).

### **Основные элементы катодной защиты:**

1. Станция катодной защиты;
2. Электрод сравнения;
3. Анодный заземлитель ( вспомогательный электрод, анод)





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

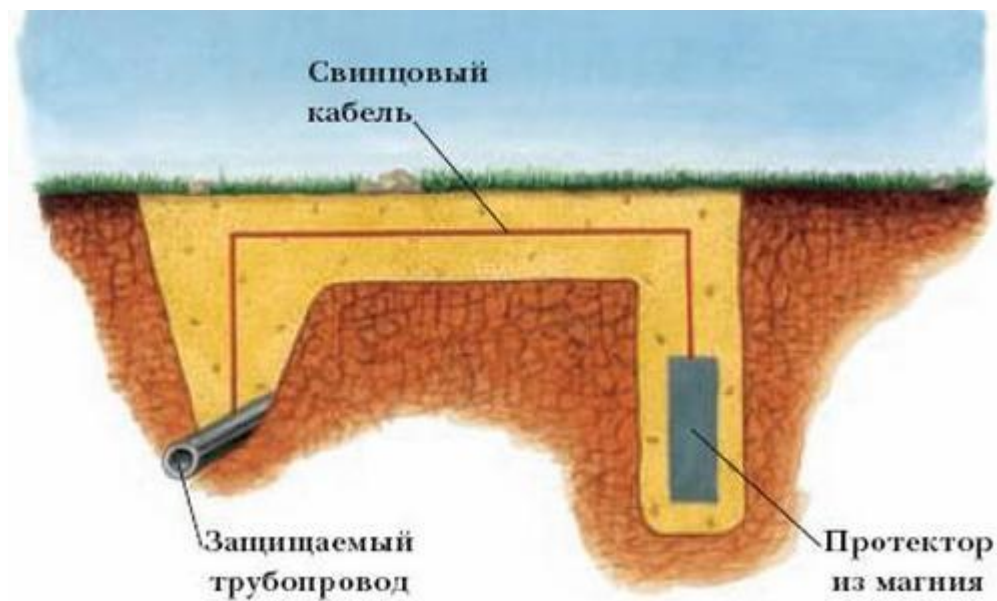
## Протекторная защита

- **Протекторная защита** основана на особенностях коррозии двух металлов в контакте. Согласно теории контактной коррозии, при контакте положительного металла  $M_2$  с более отрицательным  $M_1$  потенциал металла  $M_2$  смещается в **отрицательную сторону**, коррозия его при этом уменьшается или полностью прекращается.



## Протекторная защита

### Принципиальная схема протекторной защиты





ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Протекторная защита

- **Используется:** 1. Для защиты магистральных подземных трубопроводов;
  2. Для защиты оборудования при добыче нефти;
  3. Для защиты от морской коррозии (платформы, трубопроводы, танкеры);
  4. Для защиты внутренней поверхности резервуаров для хранения нефти и ее продуктов;
  5. Для защиты заглубленных резервуаров для хранения пожароопасных и взрывоопасных веществ;
  6. Для защиты днищ резервуаров для хранения топлива



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Протекторная защита

- Протектор: Zn, Al, Mg.
- Zn – в грунтах с  $p \leq 20$  см м, солевая, морская коррозии;
- Al - солевая и морская коррозия;
- Mg (сплав Al, Zn, Mn, Mg,  
5-9 %, 2-3%, 0,15-0,8, остальное

Al – увеличивает эффективность сплава, литейные и механические свойства;

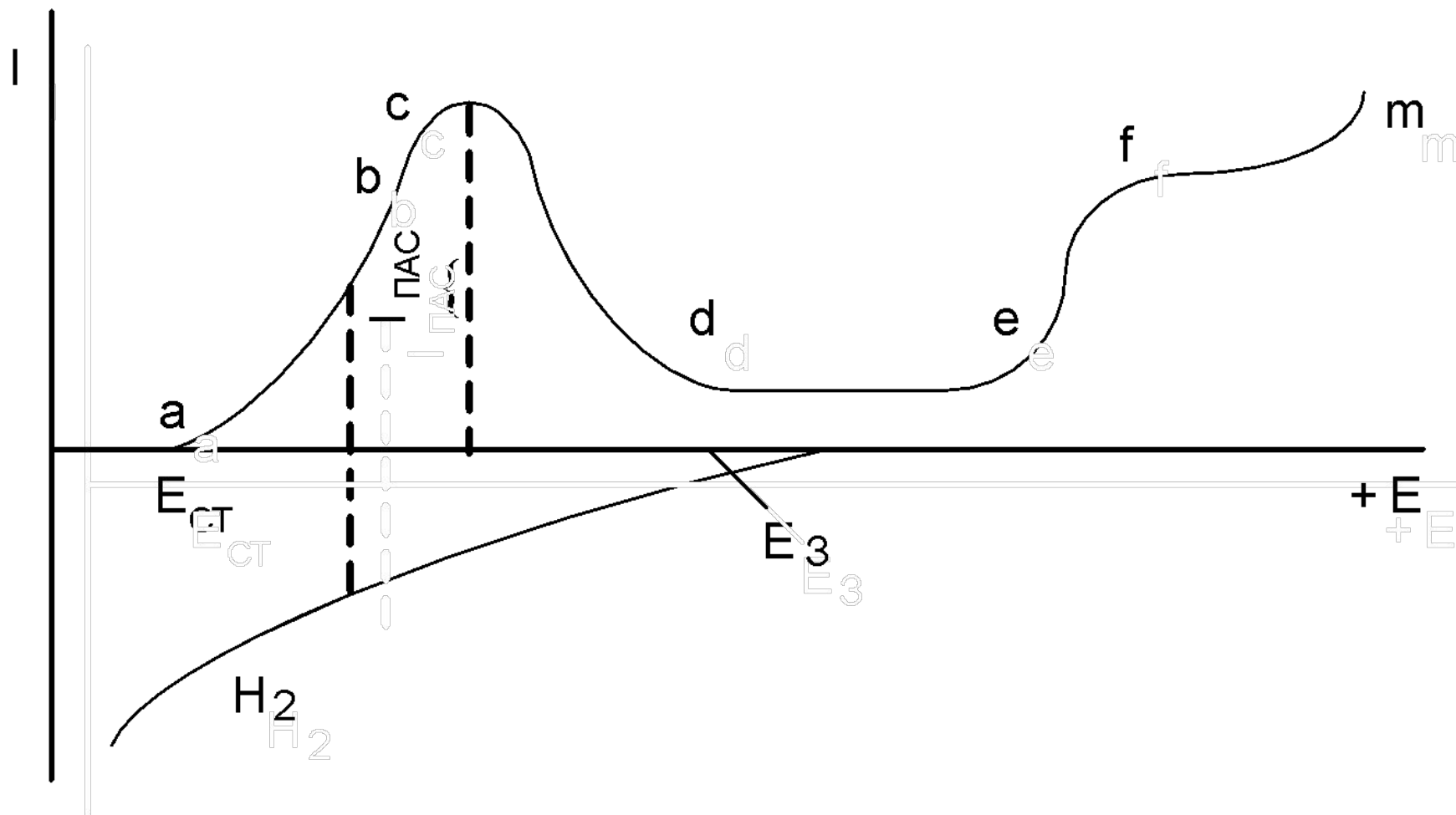
Zn - повышает КПД, уменьшает вредное влияние примесей Cu, и Ni;

Mn – Осаждает вредную примесь Fe



# Анодная защита

## Коррозионная диаграмма анодной защиты





## Анодная защита

**Анодная защита** применяется только для металлов, склонных к пассивации в коррозионной среде. Она сводится к смещению потенциала металла из области активного растворения в область пассивации с помощью внешнего источника тока.

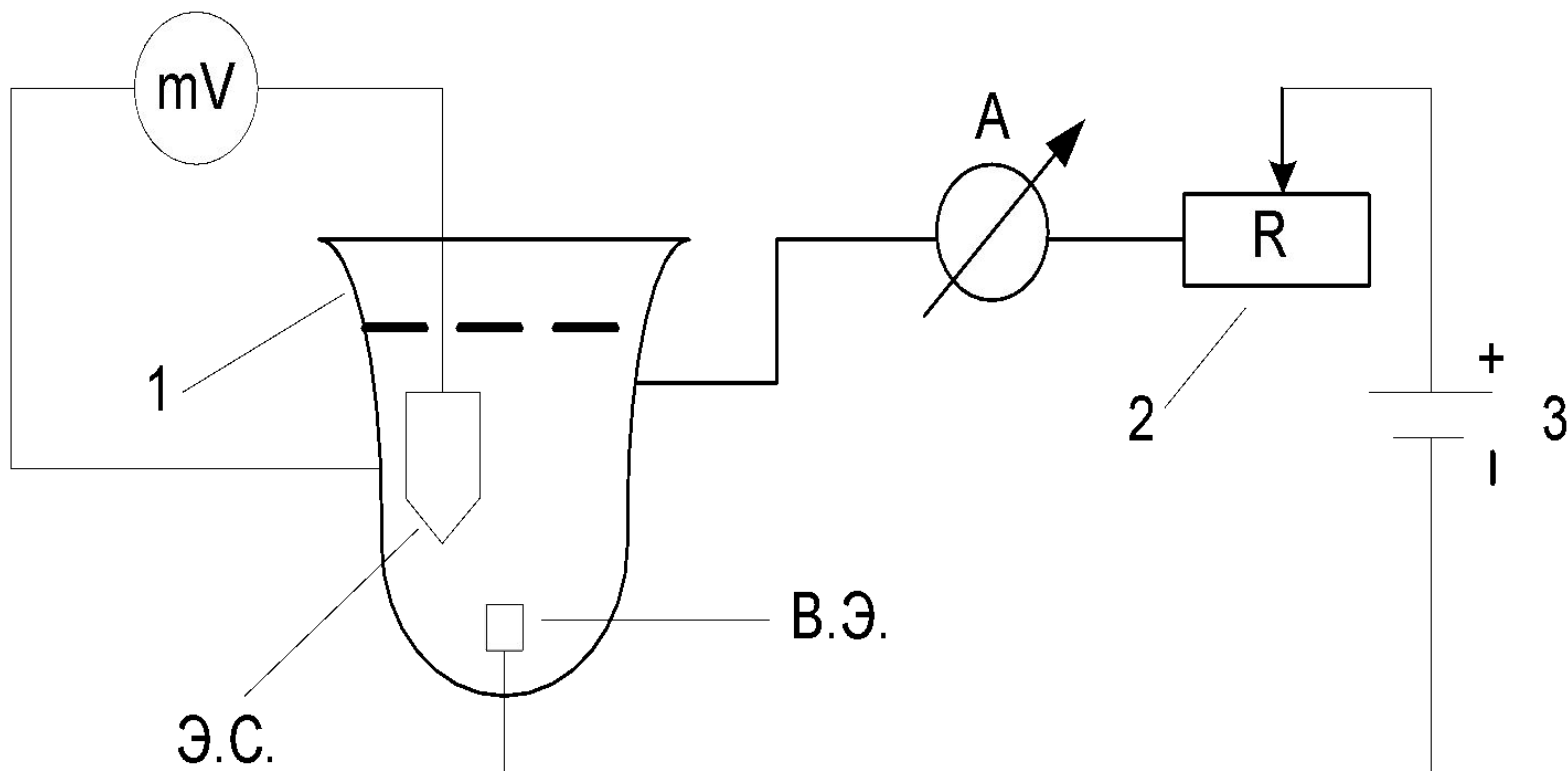


Рис. 15  
Схема  
анодной  
защиты



ВЯТСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Защита с помощью катодных присадок

