

# ЛЕКЦИЯ 2

Курс «Системы электрохимической  
защиты объектов трубопроводного  
транспорта»

# Современные способы защиты ОТТ

- Рациональный выбор трассы прокладки и сооружений.
- Изоляция поверхности металла от агрессивной среды (пассивный метод защиты).
- Воздействие на металл для повышения коррозионной стойкости.
- Воздействие на окружающую среду для снижения агрессивности.
- Поддержание такого энергетического состояния металла, при котором окисление заторможено (активный метод защиты).
- Ограничение величины блуждающих токов.

Данные методы защиты могут быть использованы в сочетании друг с другом, а также применяться отдельно

# Дефекты покрытий

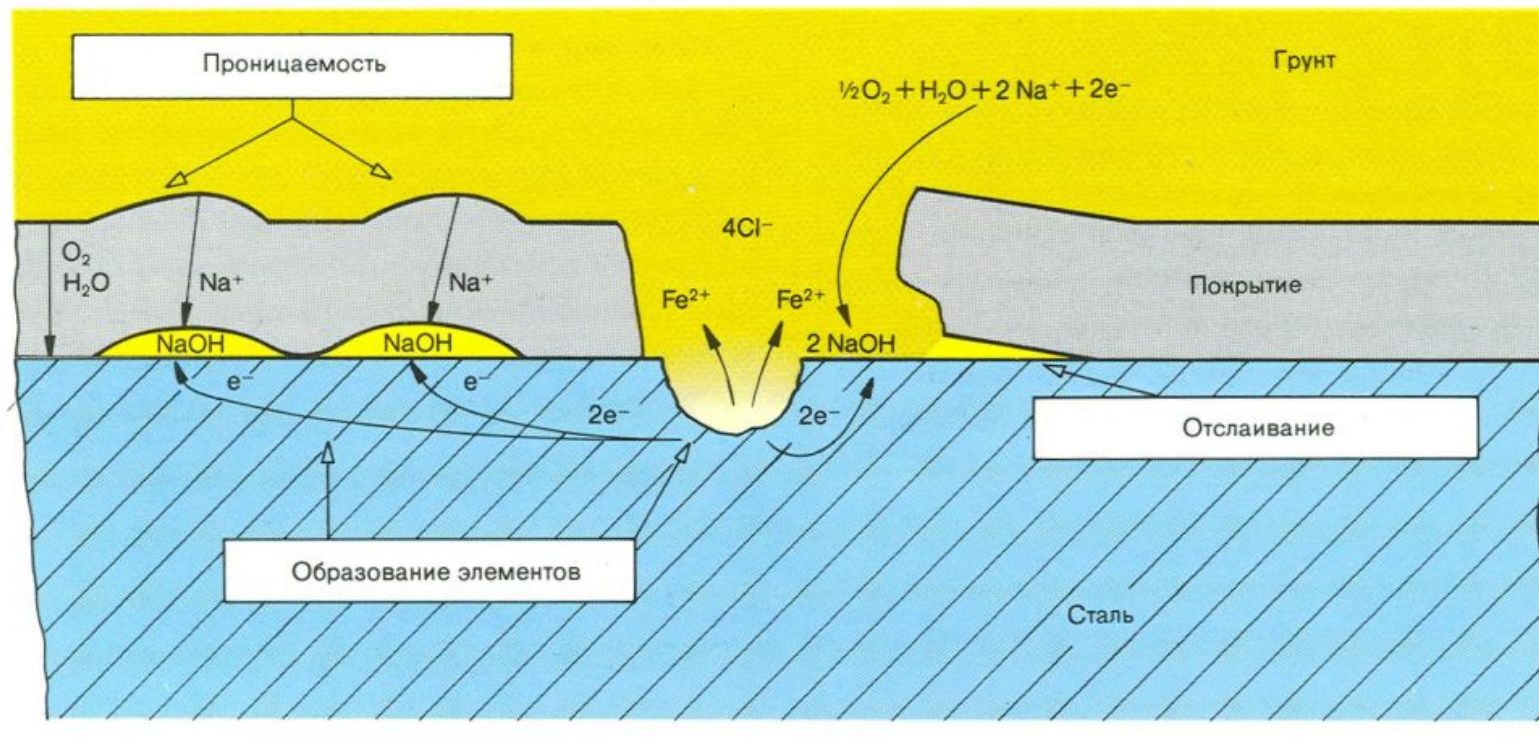


Рис. 7 Коррозионнохимические взаимодействия на покрытиях

щелочное отслаивание; образование элементов с защищенной поверхностью катода; проницаемость и подпленочная коррозия

# Активные методы

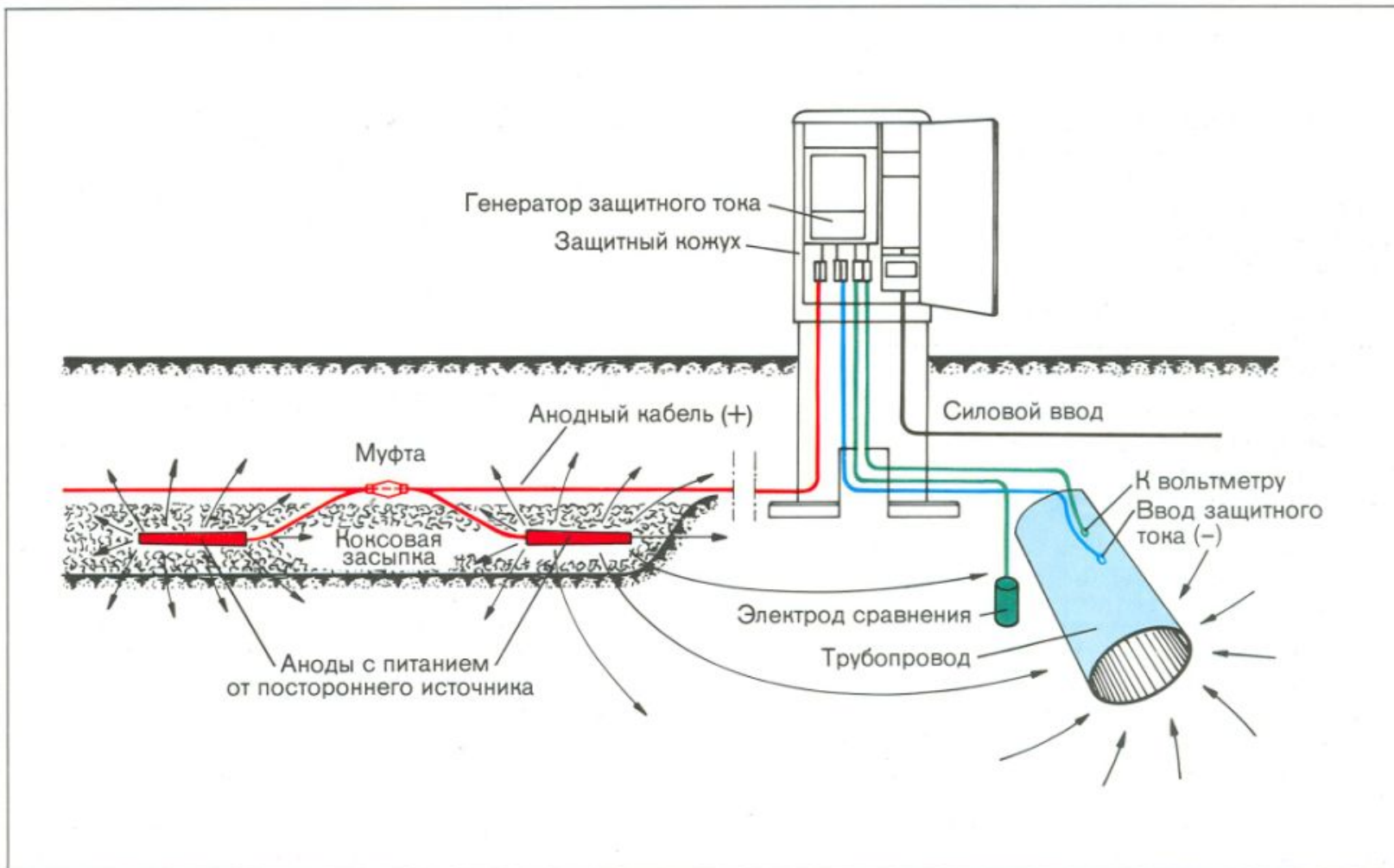
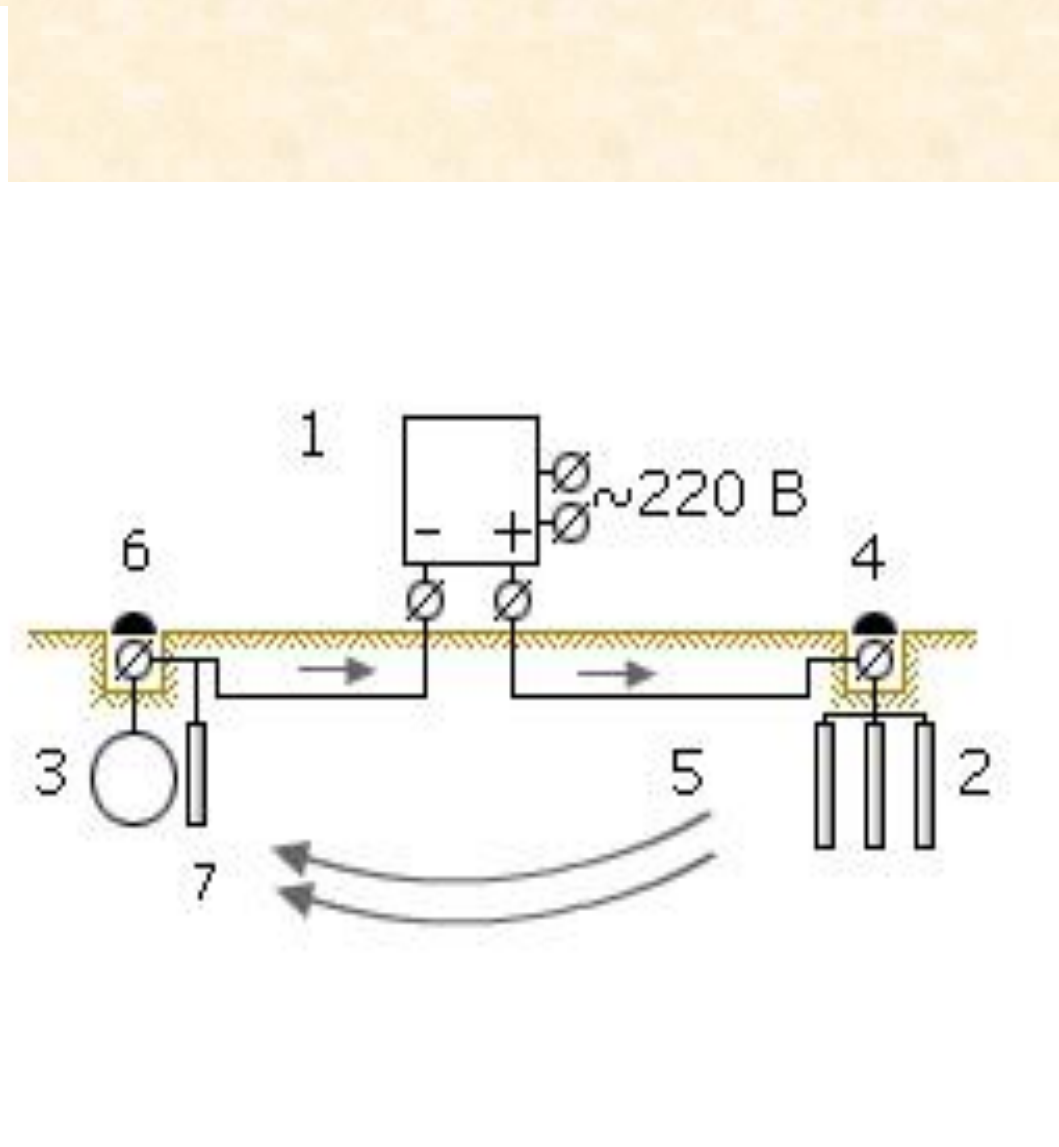
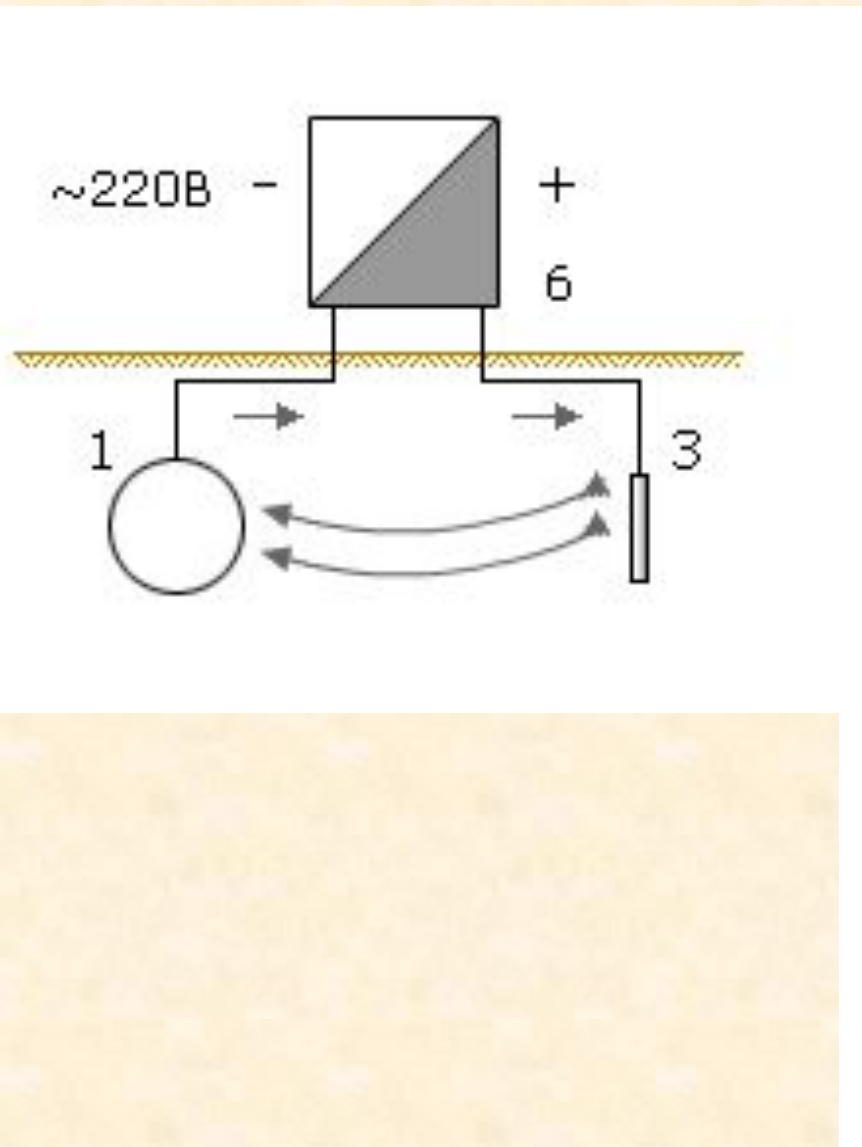


Рис. 12 Станция катодной защиты с питанием от постороннего источника с расстановкой анодов, генератором защитного тока и с подводкой линией к трубопроводу

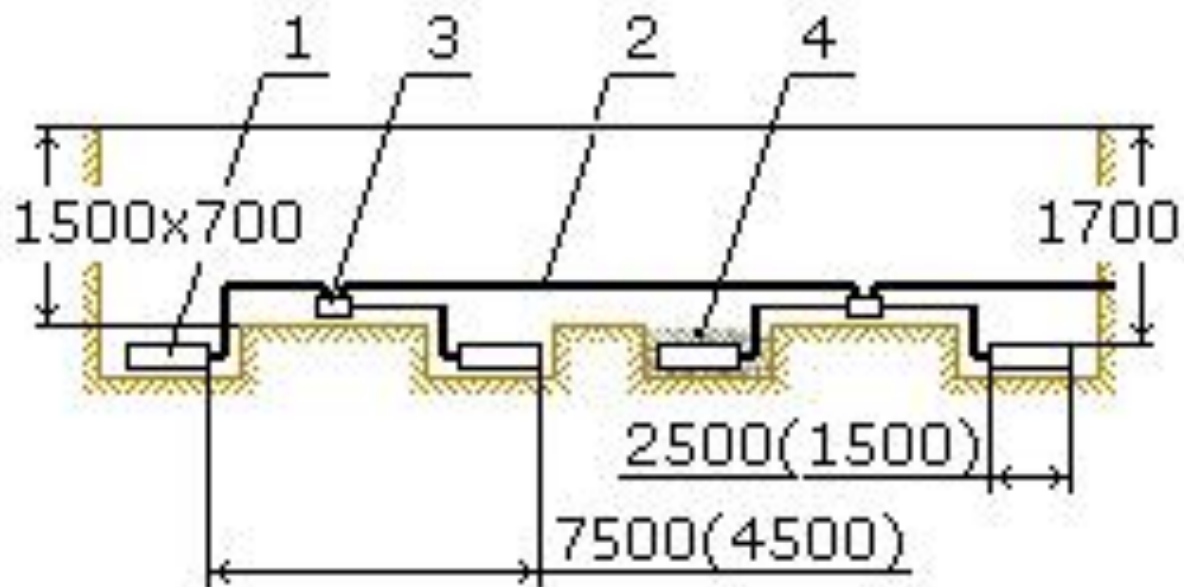
— анодный кабель; — катодный кабель  
— измерительный кабель, проложенный к трубопроводу и встроенному электроду сравнения (во избежание очень больших погрешностей за счет омического падения напряжения ( $IR$ ) вблизи анода или в целях управления выпрямителями с регулированием потенциала)



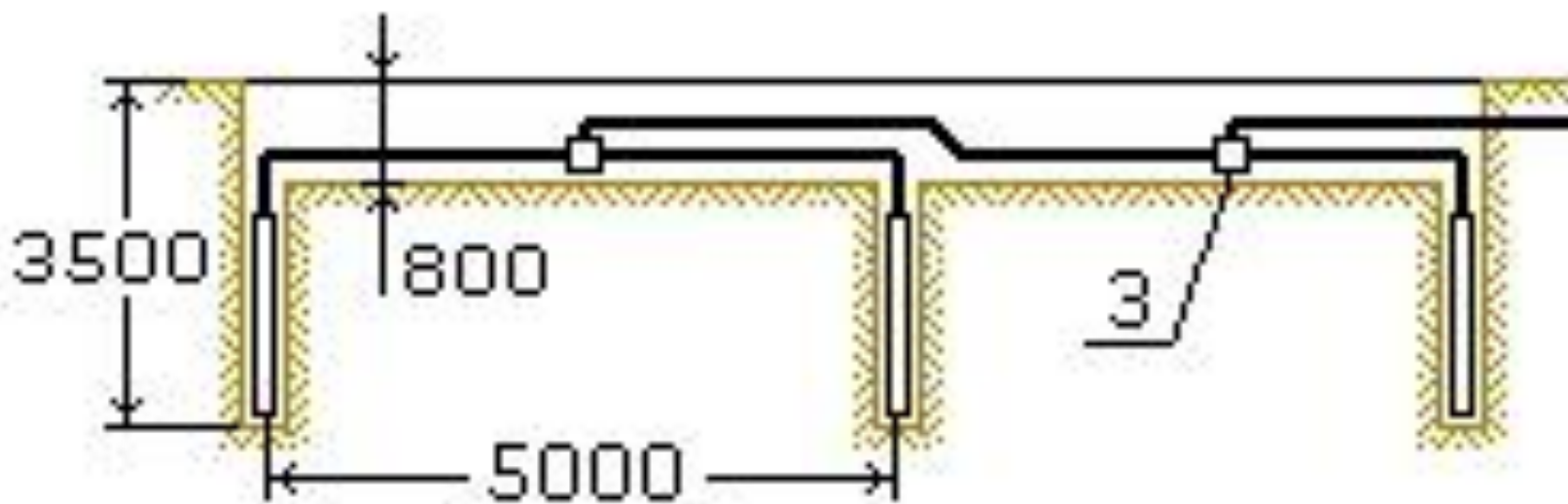
# Станции катодной защиты



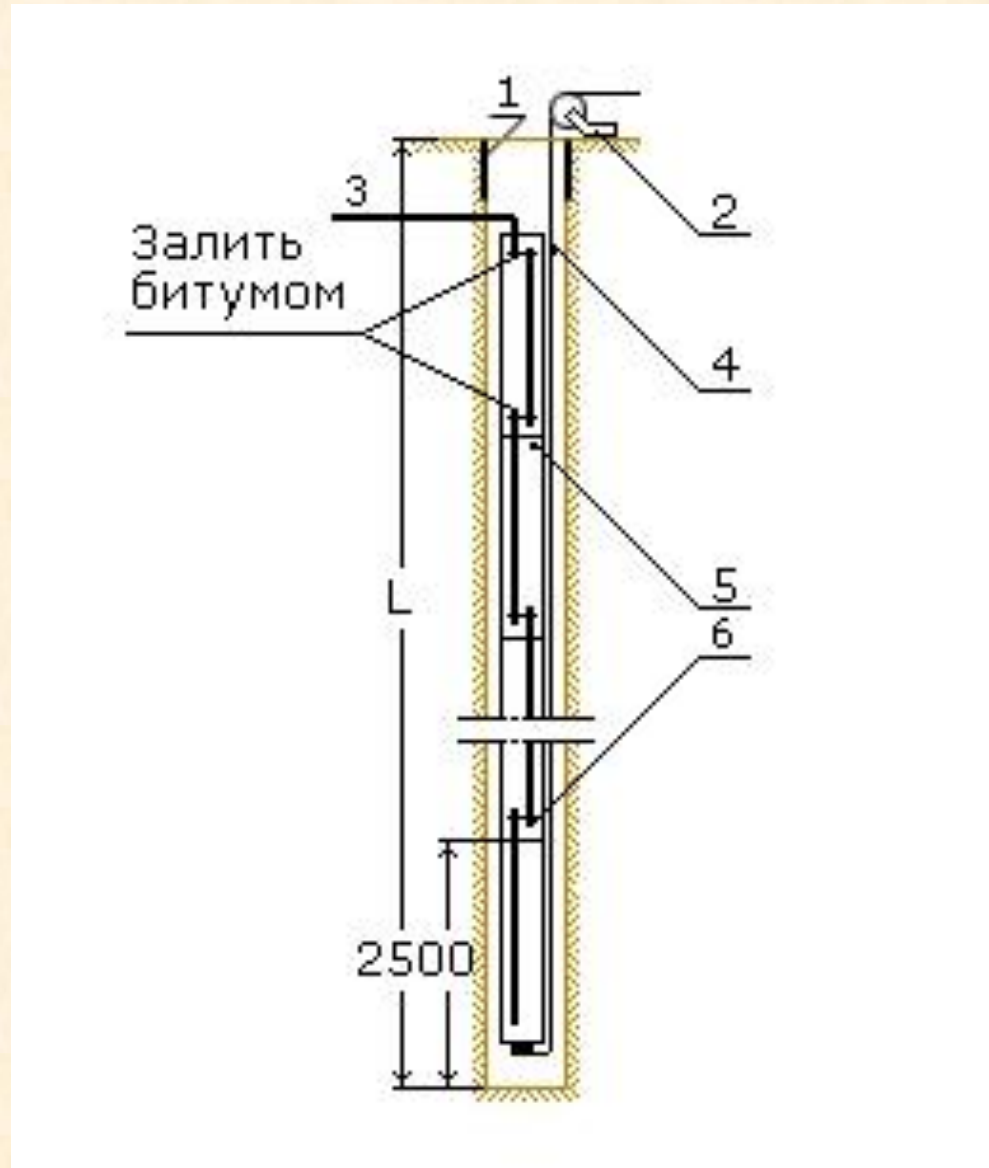
# Горизонтальные анодные заземлители



# Вертикальные анодные заземлители

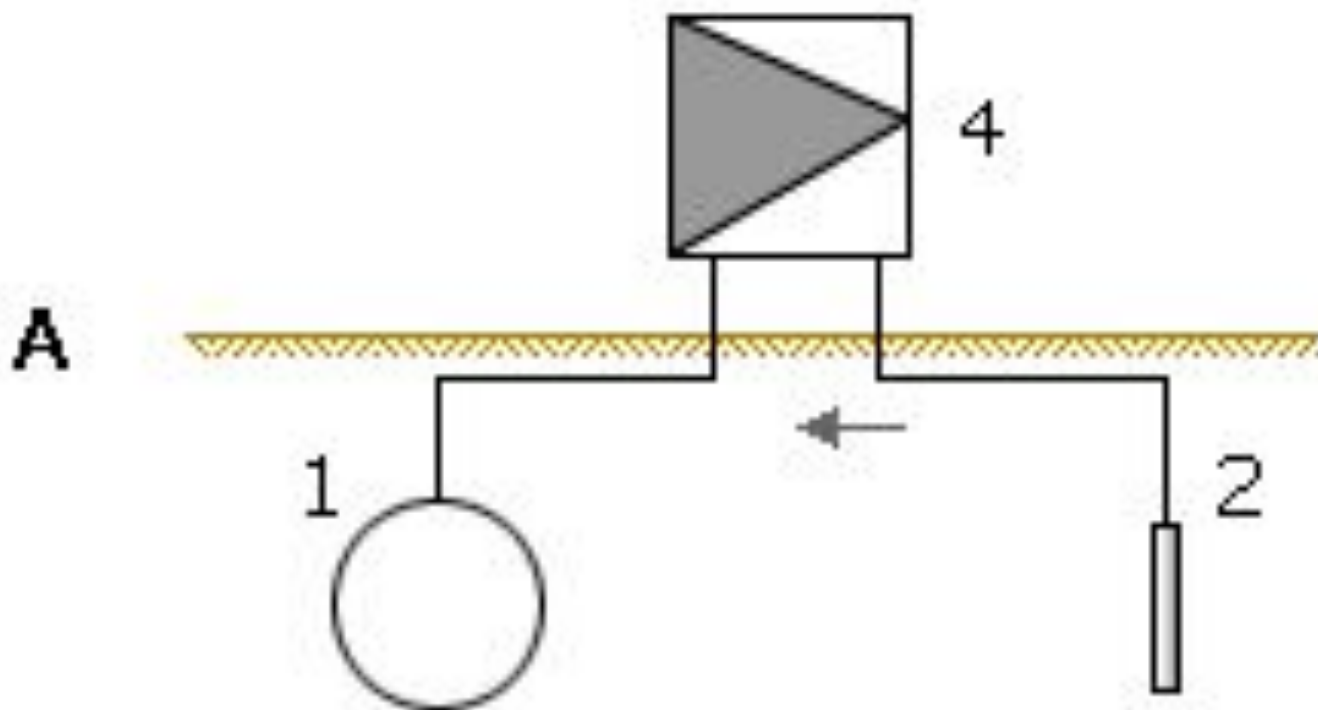


# Глубинное анодное заземление





# Протекторная защита.



# Магниевые протекторы

Из-за высокого рабочего потенциала магниевого протекторного сплава (минус 1,45 В по хлорсеребряному электроду сравнения) происходит **быстрый износ** протекторов и поэтому не представляется возможным с помощью этих протекторов осуществить защиту на приемлемый для практики длительный срок.

Следует отметить также что у магния и магниевых сплавов, в отличие от цинка и алюминия, **отсутствует поляризация**, сопровождаемая уменьшением токоотдачи.

## Область применения

**ВАЖНО!** Нежелательно применение магниевых протекторов для защиты внутренней поверхности танков, резервуаров других емкостей для хранения, отстоя или перевозки нефти и нефтепереработки, так как магниевые протекторы являются крайне взрывопожароопасными (при соударении магния со сталью образуются искры), а при работе магниевых протекторов выделяется газообразный водород, который сам способен создавать взрывопожароопасную среду.

Наиболее выгодно применение магниевых протекторов для защиты трубопроводов, днищ резервуаров снаружи, металлоконструкций, работающих в среде пресной воды, атмосферных условиях, зонах переменного смачивания и грунтах с высоким удельным сопротивлением.

# Цинковые протекторы

Протекторы из цинкового сплава полностью **взрывопожаробезопасны**, что позволяет их применять на объектах, к которым предъявляются жесткие требования по взрывопожаробезопасности. Кроме того, при их анодном растворении не образуются продукты, загрязняющие рабочую среду.

## Область применения

Опыт показывает, что в песчано-парафинистых отложениях на днищах резервуаров из-за их невысокой электропроводности анодной активности алюминиевого сплава недостаточно. Поэтому, учитывая, что протекторы из цинкового сплава имеют более высокий рабочий потенциал, чем протекторы из алюминиевого сплава, для защиты от коррозии внутренней поверхности нефтяных резервуаров, в первую очередь, днищ и нижних поясов, наиболее рационально применять протекторы из цинкового сплава.

# Алюминиевые протекторы

Короткозамкнутые протекторы из сплава с повышенной анодной активностью предназначены для защиты днищ резервуаров, подверженных накоплению песчано- парафиновых отложений, удельная электропроводность которых значительно ниже, чем у пластовых вод. Такой материал характеризуется величиной рабочего и стационарного отрицательного потенциала по водородному электроду сравнения соответственно 0,85-0,9 В. Применение таких сплавов позволяет также обеспечить защиту конструкции при наличии в агрессивной среде сульфатвосстанавливающих бактерий, присутствующих в нефти практически всегда.

Браслетные алюминиевые протекторы позволяют защитить сварные стыковые соединения промышленных трубопроводов, которые наиболее уязвимы для коррозии.

# Протекторная защита магистральных трубопроводов

При проектировании протекторной защиты трубопроводов решают как **прямую задачу** (определение протяженности зоны защиты установки при заданном количестве протекторов), так и **обратную** (определение необходимого числа протекторов для защиты трубопровода известной длины).

При решении **прямой** задачи длина зоны защиты протекторной установки на изолированном трубопроводе определяется с учетом потенциала протектора до подключения его к трубопроводу и сопротивления растеканию тока протекторной установки, которое, в свою очередь, зависит от сопротивления растеканию тока одиночного протектора, числа протекторов в группе и коэффициента, учитывающего взаимное экранирование протекторов в группе.

При решении **обратной** задачи число протекторов в группе, необходимое для защиты участка трубопровода заданной длины определяется как отношение величины необходимого защитного тока к токоотдаче одного протектора. Величина необходимого защитного тока определяется из условия создания на трубопроводе наложенной разности потенциалов не ниже минимальной.

**ВАЖНО!** Если сдвиг потенциала в отрицательную сторону превысит определённое значение, возможна так называемая "перезащита", связанная с выделением водорода, изменением состава приэлектродного слоя и другими явлениями, что может привести к ускорению коррозии защищаемого материала.



# Расчет протекторной защиты внутренней поверхности днища и первого пояса стальных резервуаров

Основной задачей расчета является определение количества протекторов, располагаемых на днище резервуара, и срок их службы.

Число протекторов можно определить исходя из радиуса резервуара, зоны действия одного протектора и уровня подтоварной воды в резервуаре.

Срок службы оценивается с учетом технологического коэффициента, характеризующего условия работы резервуара, массы протектора и силы его тока, которая, в свою очередь, зависит от диаметров протектора и электролита (резервуара), поляризионного сопротивления протектора, разности потенциалов протектор-днище при разомкнутой цепи и поправочного коэффициента, зависящего от уровня подтоварной воды.

# Расчет протекторной защиты днища стальных резервуаров от грунтовой коррозии

Основная задача - определение числа протекторов и срока их службы.

В основе расчета - достижение плотностью тока в цепи протектор-резервуар защитного значения, которое выбирают в зависимости от переходного сопротивления изоляции днища и удельного электрического сопротивления грунтов. Алгоритм расчета :

1. Оценивается переходное сопротивление изоляции днища резервуара исходя из переходного сопротивления системы резервуар-грунт, определяемого по показаниям прибора и площади днища резервуара;

2. Защитная плотность тока принимается в зависимости от удельного электрического сопротивления грунта и находится сила тока, необходимая для защиты днища резервуара от коррозии;

3. Проверяется возможность полной защиты резервуара от коррозии с помощью протекторов;

4. Определяется ориентировочное число протекторов исходя из сопротивления растеканию тока с протектора, сопротивления соединительного провода, силы тока и абсолютных значений потенциалов резервуара и протектора до подключения;

5. После корректировки числа протекторов с помощью коэффициента экранирования, принимается их окончательное количество;

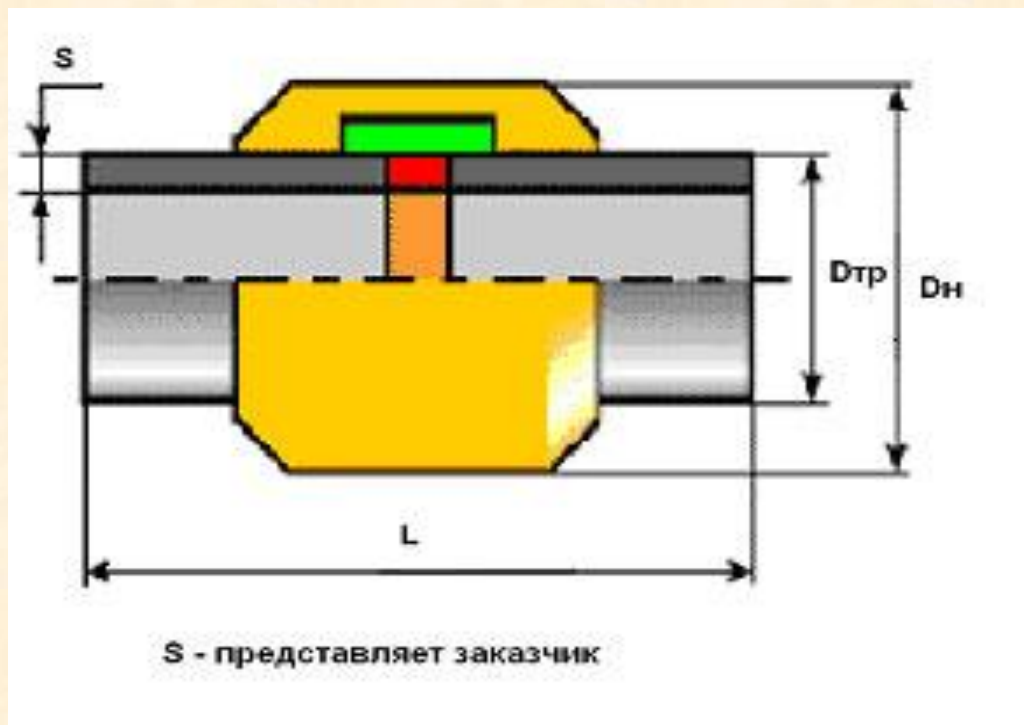
6. На заключительном этапе оценивается срок службы протектора с учетом его КПД, массы, силы тока, коэффициента использования и теоретического эквивалента материала протектора.

# Изолирующие вставки

(пример)

Технические характеристики:

- Рабочее давление до 10 МПа
- Тройной запас прочности по давлению
- Электрическое сопротивление при постоянном напряжении 500 В не менее 0,1 МОм
- Обеспечение электрической прочности при действии 5 кВ переменного напряжения частотой 50 Гц в течении 1 мин
- Температура эксплуатации  $-50...+50^{\circ}\text{C}$
- Температура транспортируемой среды от  $-20...+45^{\circ}\text{C}$



Изготавливается по ТУ  
1469-027-05015070-01 ВСН  
39-1.22-007-2002

# Мероприятия по защите от коррозии на этапе проектирования

- Оценка агрессивности среды, которая необходима для правильного выбора материала оборудования и рационального его размещения.
- Оценка и выбор материалов, совместимость материалов друг с другом.
- Оценка характера соединения материалов с целью исключения застойных зон, углублений, обеспечения минимальной площади контакта поверхности с агрессивной средой, предотвращения разбрызгивания жидкостей.
- Выбор крепежных соединений.



# Выбор материала

<p>Металл; температура плавления, плотность, тип решетки*, стандартный электродный потенциал</p>	<p>Корродируют в следующих средах</p>	<p>Устойчивы в следующих средах</p>
<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>
<p>Алюминий: 659 °С; 2,71 г/см<sup>3</sup>; ГЦК; -1,66 В (Al<sup>3+</sup>/Al)</p>	<p>Разбавленные и концентрированные кислоты HCl, HBr; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HF, HClO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; муравьиная, щавелевая, трихлоруксусная; щелочи; морская вода (питтинг); хлорсодержащие растворители; ртуть и ее соли; растворы, содержащие ионы кобальта, меди, никеля и железа; безводный этиловый, пропиловый, бутиловый спирты при повышенных температурах; при контакте с влажной древесиной, в частности с буковой. Алюминиевые сплавы расслаиваются в морской воде; склонны к КРН в водных растворах</p>	<p>Атмосферные условия; горячий и холодный NH<sub>4</sub>OH; дистиллированная вода; азотная кислота при концентрации 80 % и более 50 °С; органические кислоты (горячая и холодная уксусная, лимонная, винная, яблочная); высшие жирные кислоты; сера, пары серы и сероводород; фторированные газообразные хладагенты (хладоны)</p>
<p>Железо: 1539 °С; 7,87 г/см<sup>3</sup>; ОЦК (до 910 °С и выше 1401 °С), ГЦК; -0,44 В (Fe<sup>2+</sup>/Fe); -0,037 В (Fe<sup>3+</sup>/Fe)</p>	<p>Влажная атмосфера; морская атмосфера; сильная коррозия в присутствии сульфатовосстанавливающих бактерий при pH &lt; 4; растворы кислот; движущиеся жидкости (кавитационное разрушение); растворы солей с pH &lt; 10; галогены; галогеноводороды</p>	<p>Щелочные растворы с pH &gt; 10 (железо пассивируется); серная кислота (&gt; 70 %); азотная (&gt; 50 %); фтороводородная (70–90 %)</p>



Металл; температура плавления, плотность, тип решетки*, стандартный электродный потенциал	Корродируют в следующих средах	Устойчивы в следующих средах
1	2	3
<b>Нержавеющие стали</b>	Разбавленные и концентрированные растворы HCl, HBr и HF; хлоридсодержащие окислительные среды (растворы FeCl <sub>3</sub> , HgCl <sub>2</sub> , CuCl <sub>2</sub> и NaOCl); морская вода; растворы тиосульфатов (питтинговая коррозия); некоторые органические кислоты (щавелевая, муравьиная и молочная); при возникновении напряжений в аустенитных сталях (например, марки 304) в водах, содержащих Cl <sup>-</sup> и O <sub>2</sub> при температурах выше 60–80 °С	Атмосферные условия; азотная кислота в широком интервале концентраций и температур; воздух; очень разбавленная серная кислота в условиях аэрации при комнатной температуре; серная кислота при 10 % и при температурах кипения, если в качестве ингибиторов добавлены ионы Fe <sup>3+</sup> , Cu <sup>2+</sup> ; азотная кислота, если сталь легирована небольшими количествами Cu, Pt или Pd; холодная или горячая серная кислота при анодной защите; многие органические кислоты, включая почти все пищевые кислоты и уксусную (но не кипящую ледяную); сернистая кислота (при отсутствии ионов SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> и Cl <sup>-</sup> ); щелочи, за исключением горячих концентрированных и под механическим напряжением
<b>Низко- и среднелегированные стали</b>	Большинство кислот; сильные щелочи; соленая вода; сера и ее соединения	Вода; пар; аммиак; большинство щелочей; концентрированные кислоты; галоидные хладагенты
<b>Литейный чугун</b>	Все водные растворы; влажный газ с растворенными кислотами; растворы кислых солей	Сухие газы, кроме галогенов; сухой воздух; сухая почва; вода; концентрированные нитраты; серная и фосфорная кислоты; щелочи; органические кислоты

Таблица 5.9. Основные коррозионно-стойкие стали ферритного, мартенситного, мартенситно-ферритного классов, применяемые в промышленности [19]

Класс стали	Характерные марки или составы сталей	Основные области или условия применения, характерные свойства
Ферритные	08X13	В слабоагрессивных средах: вода, пар, атмосферные условия
	12X17	Окислительные кислоты (азотная и др.) и щелочи
	08X17T	Бытовые приборы пищевой и легкой промышленности
	15X25T	Используются в качестве жаростойких (до 1000 °С)
	15X28	Среды средней агрессивности: растворы кислот (азотная, уксусная, муравьиная, молочная, щавелевая и др.), щелочи, растворы солей органических и неорганических кислот при различных температурах и концентрациях
Мартенситные	20X13	Слабоагрессивные среды (пар, вода, водные растворы солей органических кислот)
	30X13; 40X13; 95X18	Режущие, измерительные и хирургические инструменты, пружины, подшипники
	0,4C15Cr	Пар, вода, холодная азотная кислота
Мартенситно-ферритные	12X13	Твердые износостойкие детали, хирургические инструменты, кольца, шарики и ролики подшипников
	0,7C28Cr	Коррозионно-стойкие отливки повышенной коррозионной стойкости. Хорошие литейные свойства
	0,1C29Cr	Применяются в химической промышленности, в частности для азотной и органических кислот
	0,4C28Cr4Ni	Обладают высоким сопротивлением к истиранию

Примечание. По существующему стандарту СНГ легирующие компоненты стали обозначаются следующим образом: Cr – X, Ni – H, Mo – M, Cu – Д, Si – С, Al – Ю, V – Ф, Ti – Т, Nb – Б, N<sub>2</sub> – А. Цифра после обозначения легирующего компонента означает его округленное содержание, %. Цифра перед маркой стали означает округленное содержание углерода (%), увеличенное в 100 раз.



# Проектирование оборудования

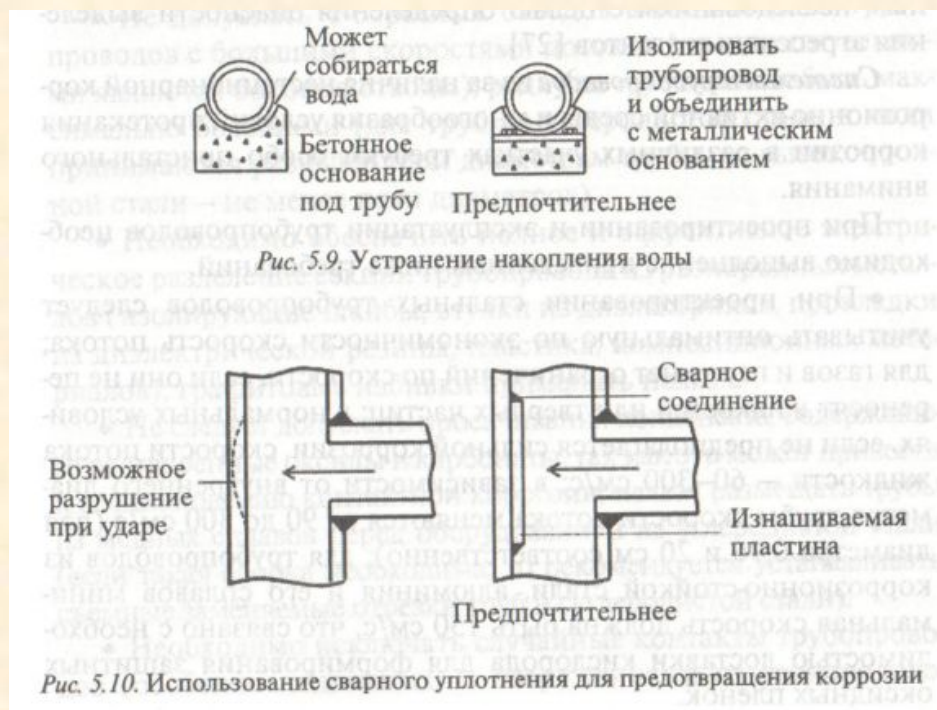
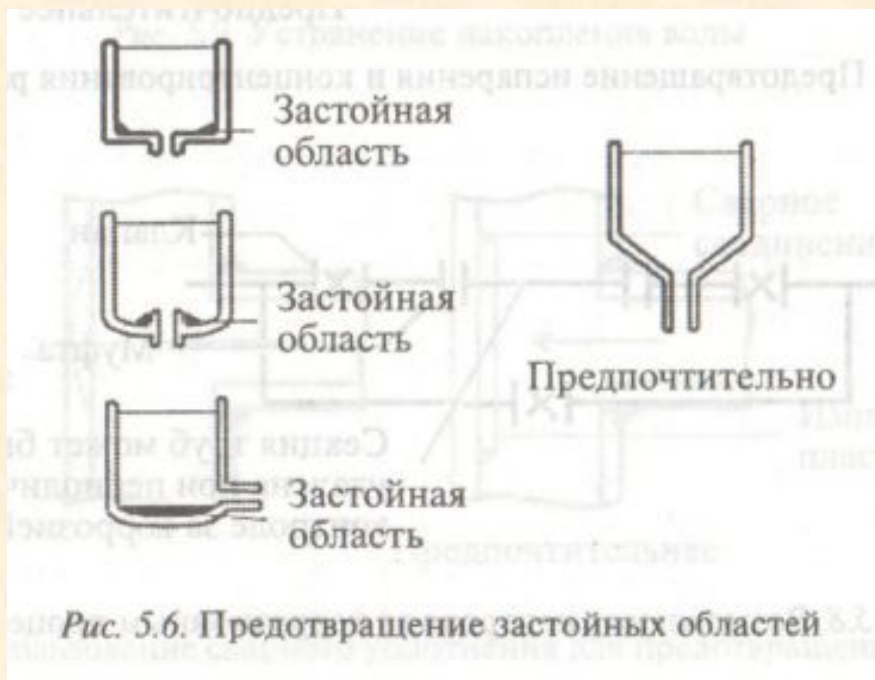




Рис. 5.7. Предотвращение испарения и концентрирования растворов



Рис. 5.8. Возможность контроля за коррозионным процессом

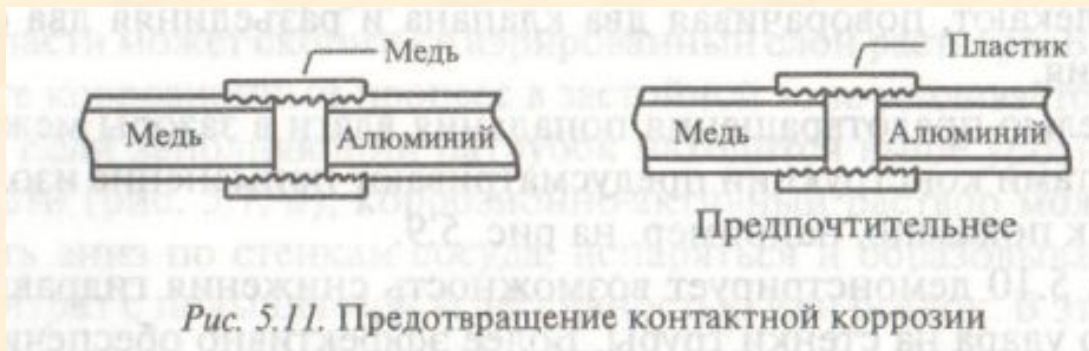


Рис. 5.11. Предотвращение контактной коррозии

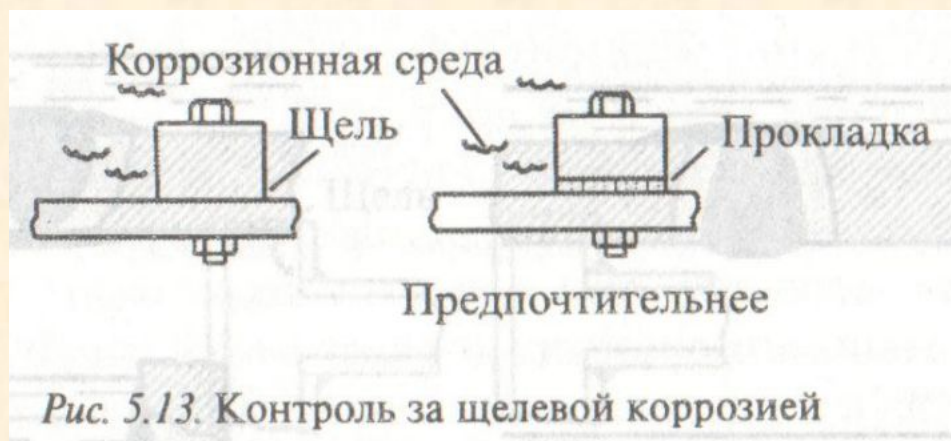
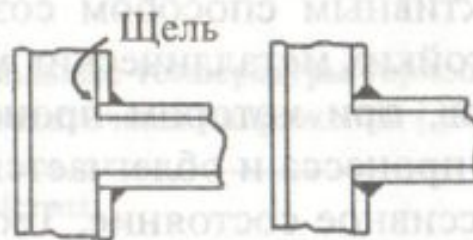


Рис. 5.13. Контроль за щелевой коррозией







Предпочтительнее

Рис. 5.16. Исключение неплотного сварного соединения



Возможно растворение  
(сталь может смешиваться  
с нержавеющей сталью)

Предпочтительнее

Рис. 5.17. Предотвращение растворения металла основы

**Таблица 5.14. Оптимальные температуры термообработки для снятия остаточных напряжений [19]**

Металл	Температура, °С
Магниевые сплавы	150–170
Алюминий и его сплавы	220–250
Латунь	280–320
Чугун	500–550
Углеродистые, низко- и среднелегированные стали	600–650
Аустенитные стали	800–820

Таблица 7.1. Факторы, определяющие коррозионное разрушение [26]

Вид коррозионного разрушения	Значимость факторов		
	Доминирующие	Сильно влияющие	Слабо влияющие
Общая (сплошная) коррозия	Загрязнение среды, толщина пленки влаги, рН раствора	Воздухообмен, продолжительность эксплуатации	Шероховатость и гетерогенность поверхности, дополнительная защита
Биокоррозия	Характер загрязнений, солнечная радиация, температура	Шероховатость поверхности, толщина пленки	Контакт металла и полимера
Локальная коррозия	Загрязнения среды	Гетерогенность поверхности, характер контакта, рН раствора	Соотношение компонентов в сплаве, структура металла, шероховатость поверхности
Структурно-избирательная коррозия	Структура металла	Содержание компонента в сплаве, технологические особенности обработки, фазовый состав	рН раствора, характер контакта с агрессивной средой
Коррозионное растрескивание, фреттинг-коррозия, коррозионная эрозия	Концентрация напряжений, характер контакта с агрессивной средой, рН раствора	Внутренние напряжения и давление среды, внешние нагрузки, технология соединения элементов	Время протекания процесса, характер соединения, наличие ингибиторов коррозии