

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

**ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ**

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ*

*к проведению практических занятий и  
выполнению самостоятельной работы*

*для студентов направлений 08.03.01 «Строительство»,  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
21.03.01 «Нефтегазовое дело», 08.04.01 «Строительство»,  
13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
21.04.01 «Нефтегазовое дело»,  
всех форм обучения*

Воронеж 2022

УДК 620.193  
ББК 34.66

**Составители:**

*Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев, Н. А. Петрикеева, С. Г. Тульская*

**Защита трубопроводов от коррозии:** методические указания к проведению практических занятий и выполнению самостоятельной работы для студентов направлений 08.03.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 21.03.01 «Нефтегазовое дело», 08.04.01 «Строительство», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 21.04.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев, Н. А. Петрикеева, С. Г. Тульская. – Воронеж: ВГТУ, 2022. – 32 с.

В методических указаниях приведены темы для проведения практических занятий, вопросы для самостоятельной подготовки, тестовые задания для самопроверки и библиографический список.

Предназначено для студентов магистратуры всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ\_ПЗиСР\_ЗТПоК.pdf.

Ил. 9. Табл. 5. Библиогр.: 7 назв

**УДК 620.193**  
**ББК 34.66**

***Рецензент** – В. И. Лукьяненко, канд. тех. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для формирования общих и специальных знаний о методах защиты трубопроводов от коррозии, получения общих сведений о видах коррозии. Указания разработаны и предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 21.03.01 «Нефтегазовое дело», 21.04.01 «Нефтегазовое дело», 08.04.01 «Строительство», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Методические указания успешно используются для изучения методов защиты от коррозии в зависимости от назначения и вида трубопроводов, связанных с процессами транспортировки и потребления целевых продуктов. Представлен принцип действия различных видов защит: пассивной и активной. В трубопроводной промышленности защита стальных трубопроводов и оборудования является одной из превалирующих задач.

Приведены обобщенные сведения о содержательности практических занятий и материалы для выполнения самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа – часть образовательного процесса, которая является дидактическим средством развития готовности к профессиональному самообразованию, приобретения умений и навыков, соответствующих компетентностной модели выпускника, осваивающего основную профессиональную образовательную программу бакалавриата или магистратуры.

Представленный в методических указаниях круг проблем включает в себя как вопросы, освоение которых предусмотрено в контактной форме взаимодействия студента и преподавателя, так и вопросы, которые студенту предстоит изучать самостоятельно, без присутствия преподавателя.

Обязательная самостоятельная работа обеспечивает подготовку студента к текущим аудиторным занятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности студента на занятиях и качественном уровне представленных докладов, выполненных работ, тестовых заданий и других форм текущего контроля.

## 1. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА И ВИДЫ КОРРОЗИИ

Коррозией металлов называется постоянное разрушение их поверхностей в результате химического и электрохимического взаимодействия металла с внешней средой, а также воздействия на металл электрических токов. По видам коррозия подразделяется:

а) *химическая (атмосферная)* – коррозия происходит в результате воздействия на металл влажного воздуха, осадков при этом происходит окисление металла (его ржавление). От данного вида коррозии надземные газопроводы следует защищать путем нанесения защитного слоя окрашиванием газопровода двумя слоями краски на два слоя грунтовки.

б) **биокоррозия** – разрушение металлов и противокоррозионных покрытий под действием присутствующих в среде микроорганизмов (бактерий, грибов, дрожжей) происходит в результате жизнедеятельности микроорганизмов образуются продукты жизнедеятельности повышают коррозионную активность среды. Биокоррозия полимерных материалов связана с выработыванием микроорганизмами ферментов, резко ускоряющих деструкцию макромолекул. Защита от биокоррозии осуществляется как правило путем нанесения изоляционных покрытий и с помощью станций электрохимзащиты.

в) **электрохимическая** – коррозия происходит в результате воздействия на металл влаги, кислот, щелочей. Грунты, содержащие такие почвы, являются грунтами повышенной опасности и характеризуются по степени коррозионной активности (низкую, среднюю, высокую). При воздействии на металл таких грунтов его окисление (ржавление)проходит более быстро чем при атмосферной коррозии так как в местах соприкосновения металла с грунтом появляется электроток (поляризованный). Защита от электрохимической коррозии осуществляется как правило путем нанесения изоляционных покрытий и с помощью станций электрохимзащиты. Электрохимическая защита (рис. 1.1) газопроводов в грунтах высокой коррозионной агрессивности, независимо от влияния блуждающих токов, должна обеспечивать значения поляризационных потенциалов стали в пределах от -0,85 вольт до -1,15 вольт (относительно насыщенного медносульфатного электрода сравнения) или значения суммарного потенциала (включающие поляризационную и омическую составляющие) - разности потенциалов между трубой и землей в пределах от -0,9 вольт до -2,5 вольт (относительно насыщенного медносульфатного электрода сравнения).



Рис. 1.1 Процесс электрохимической коррозии

г) при наличии в металле блуждающих (от электротранспорта) токов коррозия металлов происходит очень быстро (в течении 3-4 месяцев на газопроводе появляются сквозные свищи. Такая коррозия называется **электрокоррозией** или **коррозией блуждающими токами**.

## **2. ЗАЩИТА ГАЗОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ. ВИДЫ ЗАЩИТЫ**

По способу, защита газопроводов от коррозии подразделяется на *пассивную* и *активную*. Согласно требованиям ГОСТ подземные газопроводы защищают от почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами, двумя способами: пассивным и активным. Пассивный способ заключается в изоляции газопровода от контакта с окружающим грунтом и ограничением проникания блуждающих токов в газопровод из окружающей среды.

### **2.1. ПАССИВНАЯ ЗАЩИТА**

Работы по нанесению изоляционных покрытий на трубы осуществляется в базовых условиях на механизированных линиях изоляции в соответствии с технологическим регламентом (или Технологической инструкцией), разработанным для каждого типа покрытия и согласованным с головной организацией. Качество покрытия труб должно соответствовать требованиям технических условий на каждый вид покрытия.

#### **2.1.1. Защита трубопроводов от коррозии с использованием современных изоляционных покрытий**

Транспортировка нефти, газа и нефтепродуктов по трубопроводам является наиболее эффективным и безопасным способом их транспортировки на значительные расстояния. Этим способом доставки нефти и газа от районов их добычи к потребителям пользуются уже более 100 лет. Долговечность и безаварийность работы трубопроводов напрямую зависит от эффективности их противокоррозионной защиты. Для сведения к минимуму риска коррозионных повреждений трубопроводы защищают антикоррозионными покрытиями и дополнительно средствами электрохимзащиты (ЭХЗ). При этом изоляционные покрытия обеспечивают первичную ("пассивную") защиту трубопроводов от коррозии, выполняя функцию "диффузионного барьера", через который затрудняется доступ к металлу коррозионноактивных агентов (воды, кислорода воздуха). При появлении в покрытии дефектов предусматривается система катодной защиты трубопроводов - "активная" защита от коррозии.

Для того, чтобы защитное покрытие эффективно выполняло свои функции, оно должно удовлетворять целому ряду требований, основными из которых являются: низкая влаго-, кислородопроницаемость, высокие механические характеристики, высокая и стабильная во времени адгезия покрытия к стали, стойкость к катодному отслаиванию, хорошие диэлектрические характеристики, устойчивость покрытия к УФ и тепловому старению. Изоляционные покрытия должны выполнять свои функции в широком интервале температур строительства и эксплуатации трубопроводов, обеспечивая их защиту от коррозии на максимально возможный срок их эксплуатации.

История применения защитных покрытий трубопроводов насчитывает более 100 лет, однако до сих пор не все вопросы в этой области благополучно решены. С одной стороны, постоянно повышается качество защитных покрытий трубопроводов, практически каждые 10 лет появляются новые изоляционные материалы, новые технологии и оборудование для нанесения покрытий на трубы в заводских и трассовых условиях. С другой стороны, становятся все более жесткими условия строительства и эксплуатации трубопроводов (строительство трубопроводов в условиях Крайнего Севера, в Западной Сибири, освоение морских месторождений нефти и газа, глубоководная прокладка, строительство участков трубопроводов методами "наклонно-направленного бурения", "микротоннелирования", эксплуатация трубопроводов при температурах до 100 °С и выше, и др.).

### **2.1.2. Основные типы современных антикоррозионных покрытий трубопроводов заводского и трассового нанесения**

Рассмотрим основные типы современных антикоррозионных покрытий трубопроводов заводского и трассового нанесения, их преимущества, недостатки, область применения.

#### ***Антикоррозионные покрытия трубопроводов трассового нанесения***

Для изоляции трубопроводов в трассовых условиях в настоящее время наиболее широко применяют три типа защитных покрытий:

- а) битумно-мастичные покрытия;
- б) полимерные ленточные покрытия;
- в) комбинированные мастично-ленточные покрытия (покрытия типа "Пластобит").

#### ***Битумно-мастичные покрытия***

На протяжении многих десятилетий битумно-мастичное покрытие являлось основным типом наружного защитного покрытия отечественных трубопроводов. К преимуществам битумно-мастичных покрытий следует отнести их дешевизну, большой опыт применения, достаточно простую технологию нанесения в заводских и трассовых условиях. Битумные покрытия проницаемы для токов электрозащиты, хорошо работают совместно со средствами электрохимической защиты. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51164-98 "Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии" конструкция битумно-мастичного покрытия состоит из слоя битумной или битумно-полимерной грунтовки (раствор битума в бензине), двух или трех слоев битумной мастики, между которыми находится армирующий материал (стеклохолст или стеклосетка) и наружного слоя из защитной обертки. В качестве защитной обертки ранее использовались оберточные материалы на битумно-каучуковой основе типа "бризол", "гидроизол" и др. или крафт-бумага. В настоящее время применяют преимущественно полимерные защитные покрытия толщиной не менее 0,5 мм, грунтовку битумную или битумно-полимерную, слой мастики битумной или битумно-полимерной, слой армирующего материала (стеклохолст или стеклосетка), второй слой изоляционной мастики, второй слой армирующего материала, наружный

слой защитной полимерной обертки. Общая толщина битумно-мастичного покрытия усиленного типа составляет не менее 6,0 мм, а для покрытия трассового нанесения нормального типа - не менее 4,0 мм.

В качестве изоляционных мастик для нанесения битумно-мастичных покрытий применяются: битумно-резиновые мастики, битумно-полимерные мастики (с добавками полиэтилена, атактического полипропилена), битумные мастики с добавками термоэластопластов, мастики на основе асфальтосмолистых соединений типа "Асмол". В последние годы появился целый ряд битумных мастик нового поколения, обладающих повышенными показателями свойств.

Основными недостатками битумно-мастичных покрытий являются: узкий температурный диапазон применения (от минус 10 до плюс 40 °С), недостаточно высокая ударная прочность и стойкость к продавливанию, повышенная влагонасыщаемость и низкая биостойкость покрытий. Срок службы битумных покрытий ограничен и, как правило, не превышает 10-15 лет. Рекомендуемая область применения битумно-мастичных покрытий - защита от коррозии трубопроводов малых и средних диаметров, работающих при нормальных температурах эксплуатации. В соответствии с требованиями ГОСТа Р 51164-98 применение битумных покрытий ограничивается диаметрами трубопроводов не более 820 мм и температурой эксплуатации не выше плюс 40 °С.

### *Полимерные ленточные покрытия*

Полимерные ленточные покрытия за рубежом стали применяться в начале 60-х гг. прошлого века. В нашей стране пик применения полимерных ленточных покрытий пришелся на 70-80 гг., на период строительства целой сети протяженных магистральных газопроводов. К настоящему времени на долю полимерных ленточных покрытий на российских газопроводах приходится до 60-65% от их общей протяженности.

Конструкция полимерного ленточного покрытия трассового нанесения в соответствии с ГОСТ Р 51164-98 состоит из слоя адгезионной грунтовки, 1 слоя полимерной изоляционной ленты толщиной не менее 0,6 мм и 1 слоя защитной полимерной обертки толщиной не менее 0,6 мм. Общая толщина покрытия - не менее 1,2 мм.

При заводской изоляции труб количество слоев изоляционной ленты и обертки увеличивается. При этом общая толщина покрытия должна составлять: не менее 1,2 мм - для труб диаметром до 273 мм, не менее 1,8 мм - для труб диаметром до 530 мм и не менее 2,4 мм - для труб диаметром до 820 мм включительно.

Начиная с 1 июля 1999 г., после введения в действие ГОСТа Р 51164-98, применение липких полимерных лент при трассовой изоляции газопроводов ограничено диаметрами труб не выше 820 мм и температурой эксплуатации не выше плюс 40 °С. Для нефте- и нефтепродуктопроводов допускается применять ленточные покрытия трассового нанесения при изоляции труб диаметром до 1420 мм, но при этом общая толщина покрытия должна составлять не менее 1,8 мм (наносятся 2 слоя полимерной ленты и 1 слой защитной обертки).

В системе полимерного ленточного покрытия функции изоляционной ленты и защитной обертки различные. Изоляционная лента обеспечивает адгезию покрытия к стали (не менее 2 кг/см ширины), стойкость к катодному отслаиванию, выполняет функции защитного барьера, препятствующего проникновению к поверхности труб воды, почвенного электролита, кислорода, т.е. коррозионноактивных агентов. Защитная обертка служит в основном для повышения механической, ударной прочности покрытия. Она предохраняет ленточное покрытие от повреждений при укладке трубопровода в траншею и засыпке его грунтом, а также при усадке грунта и технологических подвижках трубопровода.

Полимерные ленты, защитные обертки поставляются комплектно с адгезионной грунтовкой (праймером) заводского изготовления.

Для наружной изоляции трубопроводов в настоящее время применяются в основном отечественные изоляционные материалы производства ОАО "Трубоизоляция", (г. Новокуйбышевск, Самарской область): адгезионные грунтовки типа "П-001", "НК-50", полимерные ленты типа "НК ПЭЛ-45", "НКПЭЛ-63", "Полилен", "ЛДП", защитная обертка "Полилен О". Основными зарубежными поставщиками изоляционных материалов для нанесения полимерного ленточного покрытия являются фирмы: "Polyken Pipeline Coating Systems" (США), "Altene" (Италия), "Nitto Denko Corporation", "Furukawa Electric" (Япония).

К преимуществам ленточных покрытий следует отнести: высокую технологичность их нанесения на трубы в заводских и трассовых условиях, хорошие диэлектрические характеристики, низкую влажностепрооницаемость и достаточно широкий температурный диапазон применения.

Основными недостатками полимерных ленточных покрытий являются: низкая устойчивость к сдвигу под воздействием осадки грунта, недостаточно высокая ударная прочность покрытий, экранировка ЭХЗ, низкая биостойкость адгезионного подслоя покрытия.

Опыт эксплуатации отечественных газонефтепроводов показал, что срок службы полимерных ленточных покрытий на трубопроводах диаметром 1020 мм и выше составляет от 7 до 15 лет, что в 2-4 раза меньше нормативного срока амортизации магистральных трубопроводов (не менее 33 лет). В настоящее время в ОАО "Газпром" проводятся масштабные работы по ремонту и переизоляции трубопроводов с наружными полимерными ленточными покрытиями после 20-30 лет их эксплуатации.

### ***Комбинированное мастично-ленточное покрытие***

У российских нефтяников большой популярностью пользуется комбинированное мастично-ленточное покрытие типа "Пластобит". Конструктивно покрытие состоит из слоя адгезионного праймера, слоя изоляционной мастики на основе битума или асфальтосмолистых соединений, слоя изоляционной полимерной ленты толщиной не менее 0,4 мм и слоя полимерной защитной обертки толщиной не менее 0,5 мм. Общая толщина комбинированного мастично-ленточного покрытия составляет не менее 4,0 мм.

При нанесении изоляционной битумной мастики в зимнее время ее, как правило, пластифицируют, вводят добавки специальных масел, которые предотвращают охрупчивание мастики при отрицательных температурах окружающей среды. Битумная мастика, наносимая по праймеру, обеспечивает адгезию покрытия к стали, и является основным изоляционным слоем покрытия. Полимерная лента и защитная обертка повышают механические характеристики и ударную прочность покрытия, обеспечивают равномерное распределение изоляционного мастичного слоя по периметру и длине трубопровода.

Практическое применение комбинированных покрытий типа "Пластобит" подтвердило их достаточно высокие защитные и эксплуатационные характеристики. Данный тип покрытия в настоящее время наиболее часто применяют при проведении работ по ремонту и переизоляции действующих нефтепроводов, имеющих битумные покрытия. При этом в конструкции битумно-ленточного покрытия применяют преимущественно полиэтиленовые термоусаживающиеся ленты, обладающие повышенной теплостойкостью и высокими механическими характеристиками, а в качестве изоляционных мастик используют специальные модифицированные битумные мастики нового поколения.

Основные недостатки комбинированного мастично-ленточного покрытия те же, что и у битумно-мастичных покрытий - недостаточно широкий температурный диапазон применения (от минус 10 до плюс 40 °С) и недостаточно высокие физико-механические показатели свойств (ударная прочность, стойкость к продавливанию и др.).

### 3. АКТИВНАЯ ЗАЩИТА ГАЗОПРОВОДОВ

Активная защита газопроводов от электрохимической коррозии и коррозии вызванной блуждающими токами осуществляется с помощью установок ЭХЗ. Существует защита *катодная, протекторная, дренажная*.

#### 3.1 Принципиальная схема действия катодной защиты

Катодная поляризация осуществляется с помощью наложенного тока от внешнего источника энергии, обычно выпрямителя, который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный. Защищаемая конструкция соединяется с отрицательным полюсом внешнего источника выпрямленного тока, так что она действует в качестве катода. Второй электрод (анодное заземление) соединяется с положительным полюсом источника тока, так что он действует в качестве анода. Принципиальная схема действия катодной защиты показана на рисунке 3.1 и 3.2.

Катодная защита возможна только в том случае, когда защищаемая конструкция и анодное заземление находятся в электронном и электролитическом контакте: первое достигается с помощью металлических проводников, а второе — благодаря наличию электролитической среды (грунта), в которую погружаются защи-

щаемая конструкция и анодное заземление. Катодная защита регулируется путем поддержания необходимого защитного потенциала, который измеряется между конструкцией (или датчиком поляризационного потенциала) и ЭС. Обычно ЭС служит МЭС длительного действия, находящийся постоянно в электролитической среде (грунте). Потенциал между ЭС и защищаемой конструкцией, измеряемый высокоомным вольтметром, включает в себя кроме поляризационной составляющей омическое падение напряжения  $IR$ , обусловленное прохождением катодного тока  $i$  через эффективное сопротивление  $R$  между электродом сравнения и защищаемой конструкцией. Только поляризация на поверхности защищаемой конструкции обуславливает эффект катодной защиты. Поэтому критериями защищенности являются минимальный и максимальный защитные поляризационные потенциалы. Таким образом, для точного регулирования поляризационного потенциала защищаемой конструкции по отношению к электроду сравнения из измеренной разности потенциалов должна быть исключена величина омической составляющей. Это достигается применением специальной схемы измерения поляризационного потенциала.

Катодная поляризация неизолированной металлической конструкции до величины минимального защитного потенциала требует значительных токов. Наиболее вероятные величины плотностей токов, необходимых для поляризации стали в различных средах до минимального защитного потенциала ( $-0,85$  В) по отношению к медно-сульфатному электроду сравнения.

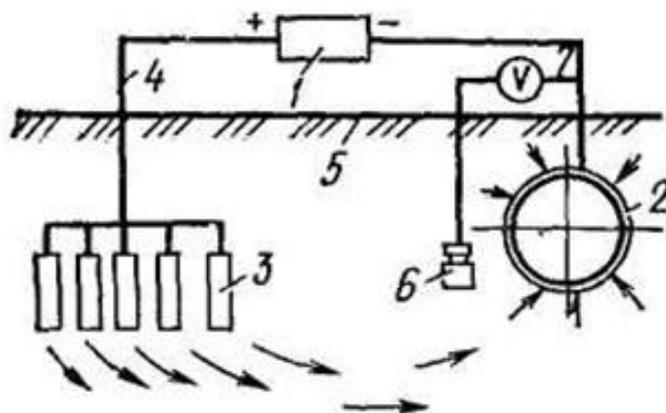


Рис. 3.1. Принцип действия катодной защиты:

*1 - источник постоянного напряжения; 2 - трубопровод; 3 - анодное заземление; 4 - металлический проводник; 5 - грунт; 6 - медносульфатный электрод сравнения с датчиком поляризационного потенциала; 7 - высокоомный вольтметр*

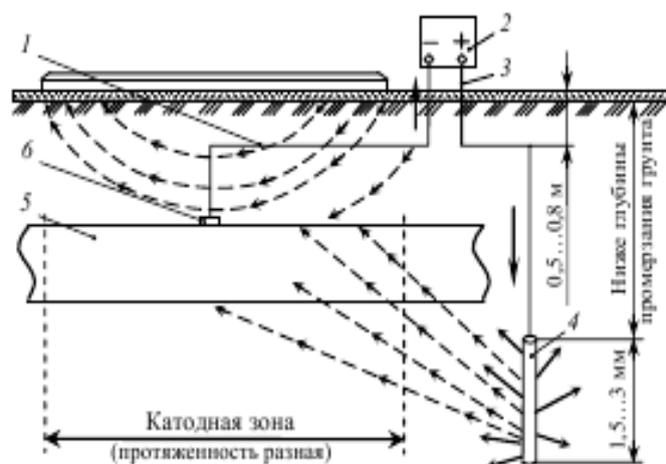


Рис. 3.2 – Схема катодной защиты:

*1 – дренажный кабель; 2 – источник постоянного тока; 3 – соединительный кабель; 4 – заземлитель (анод); 5 – газопровод; 6 – точка дренирования*

Обычно катодная защита используется совместно с изоляционными покрытиями, нанесенными на наружную поверхность защищаемого сооружения. Поверхностное покрытие уменьшает необходимый ток на несколько порядков. Так, для катодной защиты стали хорошим покрытием в почве требуется всего  $0,01...0,2 \text{ мА/м}^2$ . По мере разрушения покрытия и оголения металла катодный ток должен возрасти для обеспечения защиты сооружения. Качество наружного покрытия на защищаемой поверхности определяет интегральную площадь неизолированного металла, контактирующего с электролитом, и также ток, который будет протекать через покрытие. Ток, необходимый для катодной защиты подземных металлических трубопроводов, почти полностью зависит от качества покрытия.

### 3.2. Принципиальная схема действия протекторной защиты

Протекторные установки предназначены:

- для защиты от почвенной коррозии участков большой протяженности, удаленных от источников электроснабжения, где нецелесообразно применение катодной защиты внешним током;
- на участках, защищенных СКЗ, - в местах неполной защиты, для обеспечения необходимого защитного потенциала;
- для защиты от почвенной коррозии патронок (кожухов) на переходах через железные и автомобильные дороги;
- на участках блуждающих токов – в качестве земляных микродренажей.

Протекторы также устанавливают на изолирующих фланцах для снятия анодных зон, на электрических перемычках при совместной защите подземных сооружений для устранения электрохимического взаимодействия между ними, для защиты металлических подземных емкостей и др.

Средний срок службы протектора – 5-10 лет.

Таким образом, положительные стороны данного способа ЭХЗ:

- эффективность;
- простота устройства;
- удобность эксплуатации;
- автономность.

Отрицательные стороны – снижение эффективности при значительном удельном сопротивлении грунта, окружающего протектор и использование дефицитных материалов.

Протекторная защита (рис. 3.3) трубопроводов основана на принципе работы гальванических пар. При защите подземных металлических объектов с помощью протекторных установок к трубопроводу подключают протектор (анодный электрод), имеющий более низкий электрохимический потенциал, чем потенциал металла трубы. Создаются условия, при которых трубопровод выступает в качестве катода, а электрод (протектор) в качестве анода, в результате добиваются прекращения коррозионного разрушения трубопровода за счет интенсивного разрушения протектора.

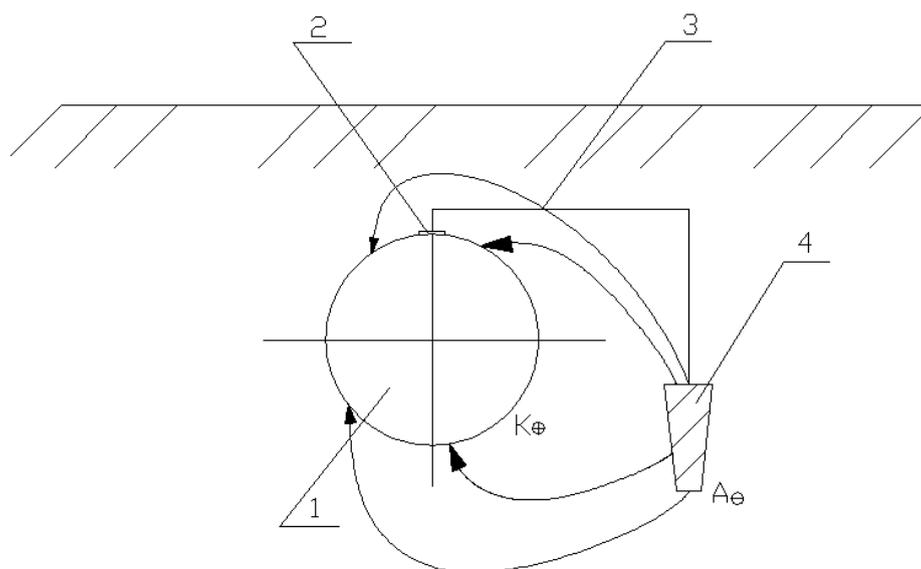


Рис.3.3 Принципиальная схема протекторной установки:

*1 – трубопровод; 2 – точка дренажа; 3 – изолированный соединительный провод; 4 – протектор; А – анод; К – катод.*

При устройстве протекторной защиты к стальному трубопроводу подключают металлический протектор. В результате этого образуется гальванический элемент «труба-протектор», в котором трубопровод является катодом, протектор – анодом, а почва – электролитом.

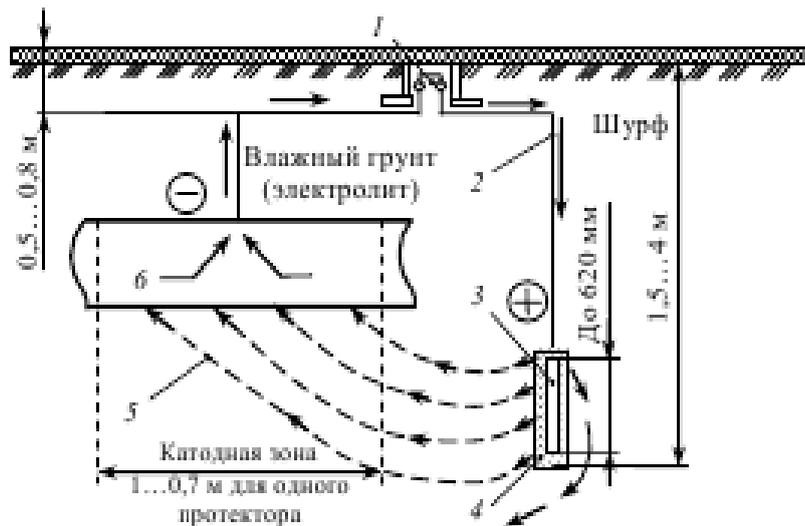


Рис. 3.4 – Схема протекторной защиты:

*1 – контрольный пункт; 2 – соединительный кабель; 3 – протектор (электрод); 4 – заполнитель (соли + глина + вода); 5 – пути движения защитного тока в грунте; 6 - газопровод*

Работа протекторной защиты основана на том, что протектор обладает более низким электрическим потенциалом чем материал газопровода в следствии чего при повреждении изоляции газопровода в зоне защиты на газопровод идет нанос протекторного металла. В следствии чего происходит разрушение протектора (электрода) а не металла газопровода. Протектор (электрод) состоит из железокремния, углеграфита помещенного в засыпку из (соль+глина+вода) засыпка необходима для более лучшего контакта электрода с землей.

Таким образом, протекторная защита имеет те же основы, что и катодная защита. Разница заключается в том, что необходимый для защиты ток создается крупным гальваническим элементом, поэтому протекторную защиту иначе называют защитой гальваническими анодами. При этом положительный полюс находится на защищаемой поверхности, а отрицательный – на разрушаемом аноде, то есть в порядке, обратном порядку при катодной защите с наложенным током от внешнего источника.

### ***Металлы и сплавы, применяемые для изготовления протекторов***

Требования, предъявляемые к материалу протектора:

- материал протектора должен иметь более отрицательный потенциал, чем потенциал трубопровода;
- на поверхности протектора не должны образовываться плотные окисные пленки (материал протектора должен иметь малую анодную поляризуемость);
- материал протектора должен иметь высокий КПД, т.к. происходит самокоррозия протектора;
- материал протектора должен иметь высокую удельную токоотдачу, то

есть  $g \rightarrow \max [A \cdot \text{час}/\text{кг}]$ ;

- количество электроэнергии с единицы веса (токоотдача) должна быть максимальной при минимальной стоимости.

В качестве материалов протекторов используют алюминий, цинк и магний, а также сплавы на их основе (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Физико-химические свойства металлов,  
используемых в качестве протекторов

Показатели	Магний	Цинк	алюминий
Относительная молекулярная масса	24,32	65,38	26,97
Валентность	2	2	3
Электрохимический эквивалент, кг/(А·год)	3,97	10,7	2,94
Токоотдача, (А·час)/кг	2200	820	2980
Равновесный электродный потенциал по нормальному водородному электроду, В	-2,34	-0,76	-1,67

**Магниевые сплавы**

Магний, относится ко второй группе периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Металлы этой группы характеризуются относительно высокой химической и электрохимической активностью. Интенсивность коррозии металлов этой группы во многом зависит от растворимости их гидроокисей. Более умеренная по сравнению с другими металлами коррозия магния в ряде случаев связана с плохой растворимостью окисных и гидроокисных пленок, образующихся на его поверхности. Технический и даже чистый магний хорошо растворяется в водных растворах кислот, бурно выделяя водород и значительное количество тепла. Так как гидроокись магния не обладает амфотерными свойствами, то скорость коррозии этого металла в водных растворах щелочей не увеличивается, а уменьшается. В воде магний корродирует медленно, причем скорость коррозии повышается с увеличением содержания в воде солей.

В нейтральных водных средах основным продуктом коррозии магния является гидроокись, в растворах же кислот образуются соли магния. Наиболее растворимыми солями магния (по степени убывания растворимости) являются хлорид, бромид, иодид, сульфат, хромат и нитрат. К плохо растворимым соединениям этого металла относятся сульфид, карбонат, фторид, борат, фосфаты, гидроокись. Гидроокись магния осаждается из водного раствора при  $\text{pH} = 8\text{—}11$  (в зависимости от концентрации ионов магния).

Потенциал магния в нейтральных водных электролитах и особенно в щелочных растворах оказывается более положительным, чем в кислотных растворах, т. е. растворение в кислых средах окисной пленки приводит к сдвигу элект-

тродного потенциала магния в область более отрицательных значений. Образование нерастворимых продуктов коррозии на металле частично или полностью тормозит анодную реакцию и этим смещает электродный потенциал магния в область более положительных значений.

Следовательно, поляризационные характеристики магниевого электрода в значительной мере зависят от состава окружающей среды. В случае, когда к металлу поступают анионы хлора ( $\text{Cl}^-$ ) или анионы серной кислоты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), образующие растворимые магниевые соли, анодная поляризация магниевого электрода оказывается небольшой. Ионы же, образующие на поверхности магниевого электрода нерастворимые соединения, способствуют более сильной анодной поляризации. В природных условиях такие анионы, как фтор ( $\text{F}^-$ ) и фосфорной кислоты ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), встречаются в небольших количествах.

Окисные и гидроокисные пленки, образующиеся на магниевом электроде, при наличии воды или влажного воздуха оказываются легко проницаемыми для ионов хлора и сульфат-ионов. По этой причине *магниевые электроды не подвергаются сильной поляризации.*

Продукты коррозии, образующиеся на протекторах, обогащаются анионами, находящимися в окружающей среде, поэтому вокруг протекторов создается токопроводящий слой, т. е. своеобразный активатор. Иногда такой слой оказывается более эффективным, чем искусственно созданный.

Стационарный потенциал магния примерно на один вольт оказывается положительнее его нормального потенциала. В нейтральных или слабощелочных электролитах сдвиг потенциала магниевого электрода в область более положительных значений зависит от наличия на его поверхности сплошной пленки, способствующей замедлению анодной реакции. Поэтому потенциал магниевого анода в водных электролитах зависит прежде всего от солевого состава и в меньшей степени от концентрации собственных ионов, которые и определяют стационарный потенциал магниевого электрода. Вещества, способствующие снятию окисной пленки или увеличивающие ее проницаемость, как правило, облегчают течение анодной реакции и сдвигают потенциал в область более отрицательных значений. Наоборот, вещества, создающие защитную пленку, тормозят анодную реакцию и сдвигают потенциал магниевого электрода в область более положительных значений. Первый случай наблюдается при наличии в среде ионов хлора  $\text{Cl}^-$  и серной кислоты  $\text{SO}_4^{2-}$ , способных легко проникать через пленку; второй случай — в щелочных средах или в присутствии ионов, образующих нерастворимые соединения магния.

При подключении магниевого и других протекторов к защищаемой конструкции их потенциал меняется. При прочих равных условиях скорость растворения магниевых электродов пропорциональна плотности анодного тока. Чем больше отдача электрической энергии, приходящаяся на единицу веса протектора, тем интенсивнее его растворение. С увеличением плотности тока в растворах, содержащих гидроксильные, карбонатные, фторидные, боратные или фосфатные ионы в значительных количествах, потенциал магниевого анода

быстро понижается. Высокая поляризация магниевых и других протекторов наблюдается в сухих почвах.

Таким образом, поведение магниевых протекторов во многом зависит от состава и концентрации в окружающей среде ионов различных солей, а также от кислотности и щелочности среды, то есть от концентрации водородных ионов и влажности почвы.

Несмотря на отмеченные положительные свойства магния как материала для протекторов, чистый магний все же не рекомендуется применять для изготовления протекторов из-за значительной самокоррозии этого металла.

Магниевые сплавы с добавками цинка имеют меньшую скорость самокоррозии. Введение в сплав алюминия позволяет также сместить потенциал протектора в область более отрицательных значений.

Наличие в протекторе примесей, особенно таких, как никель, железо и медь, имеющих сравнительно небольшое перенапряжение водорода, обычно способствует увеличению самокоррозии. Поэтому количество таких примесей должно быть минимальным.

Например, при исключении из магниевых сплавов примесей железа КПД магниевых протекторов может быть увеличен на 20%. Однако получение такого сплава связано с технологическими трудностями. Марганец при определенных условиях может являться полезной примесью, так как он способствует уменьшению вредного влияния железа, содержащегося в сплаве протектора.

Литейные сплавы магния с цинком и алюминием, такие как МЛ-3 — МЛ-6, могут быть использованы для изготовления протекторов. Однако более лучшими сплавами являются МЛ-4 и МЛ-5. Протекторы из них имеют значительный отрицательный электродный потенциал, небольшую поляризуемость, способность растворяться с образованием рыхлых продуктов коррозии, что и определяет высокую эффективность работы этих протекторов.

Магниевые протекторы МГА (ВНИИСТа) из сплава МЛ-5 широко применяют при защите магистральных трубопроводов и других конструкций от почвенной коррозии. В магниевом сплаве сумма загрязнений должна быть не больше 0,6 %, в том числе железа не больше 0,15 %. Стальной сердечник, устанавливаемый в кокиль, должен иметь чистую поверхность, без следов окисления и коррозии.

К сплаву должно плотно прилегать не менее 80% поверхности сердечника. Это можно определять визуально при рассмотрении шлифов.

Поверхность протектора также должна быть чистой. В отливках не допускается трещин и флюсовых включений.

В случае длительного хранения протекторы подвергаются консервации.

Сернистый магний и сернистый натрий образуют легко растворимые соединения с продуктами растворения протектора, чем обеспечивают постоянство его потенциала и уменьшают сопротивление растеканию протектора.

Сернистый магний и сернистый натрий представляют собой соли, растворимые в воде. Сернистый кальций — мелкокристаллический порошок

(либо строительный гипс или алебастр), в отличие от указанных двух солей, имеет значительно меньшую растворимость в воде, благодаря чему в заполнителе поддерживается постоянная концентрация сульфат-ионов.

### *Алюминиевые сплавы*

Алюминий относится к третьей группе периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Известно, что его электрохимический потенциал в нейтральных и кислых электролитах небольшой, в щелочных же растворах, наоборот, значительный. На алюминиевом электроде не устанавливается потенциал, близкий к значению равновесного, определяемого из термодинамических данных. Объясняется это тем, что алюминий в водных электролитах покрывается окисной пленкой. В щелочных средах защитные окисные пленки на алюминиевом электроде не образуются вследствие их растворения, поэтому алюминий в этих условиях находится в активном состоянии.

Сравнительно небольшой молекулярный вес алюминия, а также его высокая валентность приводят к тому, что он оказывается способным отдать значительное количество электроэнергии на единицу его веса. Однако образование плотных окисных пленок на поверхности алюминиевого протектора с последующей поляризацией и смещением его потенциала примерно до потенциала незаполяризованной стальной конструкции пока не позволило применить протекторы из чистого алюминия. Поэтому были исследованы двойные сплавы на основе алюминия с добавкой цинка и тройные сплавы на основе алюминия с добавкой цинка и магния.

Алюминиевый сплав с добавками цинка даже в нейтральных электролитах имеет потенциал, смещенный в область более отрицательных значений. В щелочных средах потенциал такого сплава изменяется на небольшую величину.

Исследования показали, что такие сплавы имеют ряд преимуществ. Так, например, испытания сплавов алюминия с 1 и 6,5% цинка показали, что в глинистой почве сплав алюминия с 6,5% цинка дает лучшие результаты по сравнению с первым сплавом. На единицу количества электрической энергии этого сплава требуется меньше по сравнению с другими сплавами и металлами. Сплав алюминия с цинком в глинистой среде имеет достаточно высокий отрицательный потенциал. Алюминиевые протекторы в среде из смеси песка, хлористого натрия и извести в первое время работы показывают высокую эффективность.

Преимуществом протекторов на основе алюминия с добавкой магния по сравнению с протекторами из чистого алюминия является то, что на их поверхности образуются менее устойчивые продукты коррозии. Добавка магния в сплав алюминия с цинком повышает силу тока и увеличивает абсолютное значение отрицательного потенциала. Однако поляризация указанных сплавов также значительна.

Изучали возможность получения алюминиевых сплавов, обладающих эффектом депассивации и поэтому не требующих активаторов. В качестве депассиватора использовали кальций. В морской воде алюминий-кальциевый

сплав, содержащий до 4% кальция, быстро пассивируется. Лучшим по силе тока и стабильности потенциала является сплав, содержащий 7,4% кальция.

### *Цинковые сплавы*

Цинк относится ко второй группе периодической системы элементов Д. И. Менделеева, это металл, который характеризуется повышенной химической и электрохимической активностью. Его растворение в водных растворах зависит от их солевого состава, содержания в них кислорода и от температуры. В чистой воде скорость растворения изменяется в зависимости от температуры.

Растворенный кислород оказывает существенное влияние на растворение цинка в воде. Установлено, что при наличии в воде кислорода в количествах, недостаточных до полного насыщения, растворение цинка протекает неравномерно, с образованием язв. Углекислый газ действует как слабый реагент; аналогичное влияние оказывает сернистый ангидрид. Из этого следует, что состав воды оказывает значительное влияние на скорость растворения цинка.

Прокатный цинк высокой чистоты растворяется в жесткой аэрируемой воде значительно сильнее, чем в аэрируемой дистиллированной воде. Продукты растворения цинка, образующиеся в электролите в присутствии углекислого газа, состоят из основного карбоната цинка, причем механизм образования основного карбоната включает две стадии. Первоначально получается окись или гидроксид цинка, которая затем взаимодействует с углекислым газом. Продукты коррозии цинковых протекторов, работающих в сульфатных растворах, состоят из основных сульфатов.

Применение гипса (сульфата кальция) в качестве активатора цинковых протекторов приводит к образованию растворимых продуктов, которые облегчают протекание тока. Без гипса образуются твердые пленки, обладающие высоким электрическим сопротивлением.

Кроме основных карбонатов, продукты растворения технического цинка содержат еще некоторые примеси таких металлов, как свинец и кадмий.

Местные гальванические элементы, возникающие в присутствии этих примесей, оказывают, очевидно, незначительное влияние на скорость растворения цинка в воде, так как в этой среде влияние состава металла невелико.

Протекторы из цинка различной чистоты ведут себя по-разному и имеют разные КПД. Протекторы из чистого цинка имеют достаточно высокий КПД; они работают продолжительное время при силе тока, близкой к первоначальной. Очевидно, примеси в определенных условиях оказывают влияние на процесс растворения и на физические свойства продуктов растворения.

Растворение цинка находится в большой зависимости от изменения электрического сопротивления и pH почвы.

КПД цинковых протекторов около 90%. Многие примеси в цинке имеют более положительный потенциал, поэтому они являются катодами по отношению к нему. Накопление на поверхности цинкового протектора примесей приводит к смещению электродного потенциала в область более положительных

значений. Кроме того, некоторые примеси, особенно железо, уменьшают силу тока. Находящиеся в электролите анионы, особенно фосфаты и карбонаты, вызывают поляризацию цинка.

Карбонаты, видимо, являются причиной уменьшения активности цинковых протекторов. Можно полагать, что наличие гипса препятствует эффекту, вызываемому карбонатами.

Установлено, что продукты коррозии цинковых протекторов в большинстве случаев состоят из карбоната цинка. Это относится к протекторам, работающим в активаторе из глины и из смеси глины с гипсом.

В гипсовом активаторе продукты коррозии цинка имеют более пористую структуру, чем в активаторе, не содержащем гипс.

Добавки алюминия и марганца несколько улучшают свойства цинковых протекторов. Протекторы из сплава цинка и 5% алюминия имеют более отрицательный потенциал и больший выход по току, чем протекторы из цинка.

На поверхности протекторов, изготовленных из этого сплава, образуются более рыхлые продукты коррозии, которые оказывают небольшое сопротивление стеканию тока с протекторов.

Однако некоторые исследователи полагают, что добавки алюминия уменьшают КПД цинковых протекторов в результате увеличения самокоррозии.

Из менее чистых сортов для протекторов может быть использован цинк марки Ц-0.

### *Заполнители*

Повышение эффективности действия протекторной установки достигается погружением его в специальную смесь солей, называемую активатором (он же – наполнитель) (табл. 3.2). Непосредственная установка протектора в грунт менее эффективна, чем в активатор.

Назначение активатора следующее:

- снижение собственной коррозии;
- уменьшение анодной поляризуемости;
- снижение сопротивления растеканию тока с протектора;
- устранение причин, способствующих образованию плотных слоев продуктов коррозии на поверхности протектора.

При использовании активатора обеспечивается стабильный во времени ток в цепи «труба-протектор» и более высокое значение КПД (срока службы протектора). Активатор готовится путем смешения сухих солей и глины с водой до вязкой консистенции по рецептам.

На один протектор необходимо готовить 65-70 кг активатора.

Таблица 3.2

Заполнители и электродные потенциалы протекторов  
из различных материалов

Материал протектора	Состав заполнителя		Электродный потенциал, В
	Ингредиенты	%	
Магний	MgSO <sub>4</sub>	25	-1,7
	CaSO <sub>4</sub>	25	
	Глина	50	
Алюминий	Ca(OH) <sub>2</sub>	25	-1,47
	NaCl	25	
	Глина	50	
цинк	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25	-1,2
	CaSO <sub>4</sub>	25	
	Глина	50	

### 3.2.1. Конструкция протекторов

Магниевый протектор МГА (ВНИИСТа) представляет собой монолитный цилиндр, в центре которого по продольной оси заправлен стальной сердечник в виде стержня. Через этот стержень осуществляется электрический контакт протектора с проводником, подключаемым к защищаемому трубопроводу.

Для лучшей изоляции внешней части вывода стального сердечника в протекторе имеется воронка. Изоляция вывода необходима для исключения возможности образования гальванопары сердечник – сплав протектора.

Протекторы могут быть с выводами сердечника в обоих торцах. Такая конструкция позволяет осуществлять их монтаж в случае применения нескольких протекторов в виде гирлянд с вертикальной или горизонтальной установкой.

В зависимости от размеров протекторы разделяют на несколько марок, приведенных в таблице 3.3.

Таблица 3.3

### Магниевые протекторы МГА

Марка протектора	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, кг	Стальной сердечник		
				форма	диаметр	Выводы с торца
МГА-1	110	600	10,36	Спиральная	3	одного
МГА-2	110	600	10,36	То же	3	Обоих
МГА-3	85	500	5,20	»	3-4	Одного
МГА-4	85	500	5,20	»	3-4	Обоих
МГА-5	110	600	10,36	Стержня	4—5	Одного
МГА-6	110	600	10,36	То же	4-5	Обоих
МГА-7	85	500	5,20	»	3-4	Одного
МГА-8	85	500	5,20	»	3-4	Обоих

Магниевые протекторы (электроды) типа ПМ (таблица 3.4) представляют собой удлиненный блок D-образного сечения. В верхнем торце протектора имеется воронка с выводом стального сердечника, служащего для подключения соединительного проводника к протектору. Место соединения проводника с протектором изолируется битумной мастикой путем заливки ее в воронку протектора. Потенциал «протектор-грунт» для этих сплавов (при разомкнутой цепи «протектор – труба») практически равен -1,6 В по медно-сульфатному электроду сравнения.

Таблица 3.4

Техническая характеристика электродов ПМ  
и комплектных протекторов ПМ-У

Показатели	Тип электрода			Тип комплектных протекторов		
	ПМ-5	МП-10	ПМ-20	ПМ5У	ПМ10У	ПМ20У
Размеры, мм	500	600	610	580	700	710
высота	75x100	100x130	155x175	-	-	-
в плане	-	-	-	165	200	270
диаметр						
Масса, кг	5	20	20	16	30	60

Прутковые (ленточные) магниевые протекторы (рис. 3.5) применяют при защите магистральных трубопроводов от коррозии в грунтах с удельным электрическим сопротивлением грунта ( $\rho_{гр}$ ) до 300 Ом·м. Их изготавливают из Mg-95, содержащего 99,95% этого металла.

При изготовлении магниевые прутки наматывают на кабельные барабаны. Строительная длина прутка – 1км.

В середине прутка запрессован стержень из стальной оцинкованной проволоки, используемой для армирования и обеспечения контакта (таблица 3.4).

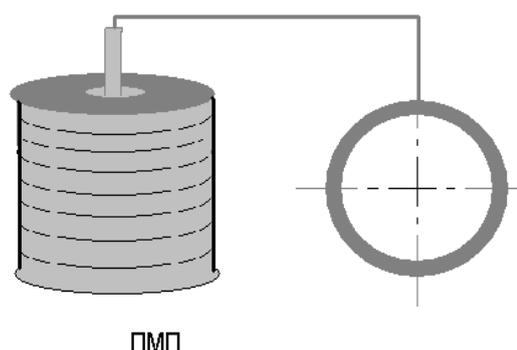


Рис. 3.5 Конструкция пруткового магниевого протектора

### *Устройство протекторной установки*

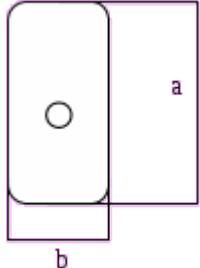
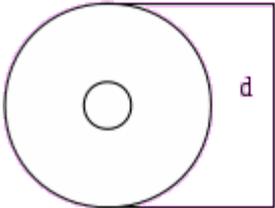
Основными элементами протекторных установок являются протектор, активатор и проводник, предназначенный для подключения протектора к трубопроводу. Для измерения электрических параметров контрольных протекторных

установок предусматриваются контрольно-измерительные пункты.

Защиту трубопроводов от почвенной коррозии можно осуществлять одиночными протекторами или группами протекторов, в соответствии с этим существует две схемы устройства протекторной установки (рис.3.6).

Таблица 3.5

Типы и размеры магниевых прутковых протекторов

Тип протектора	Вид сечения	Площадь, м <sup>2</sup>	Размеры, мм			Масса 1м протектора, кг
			а	б	в	
ПМП 20x10		200	20	10	-	0.35
ПМП 30x15		450	30	15	-	0.78
ПМП 20		310	-	-	20	0.70
ПМП 30		700	-	-	30	1.30
ПМП 40		1250	-	-	40	2.70

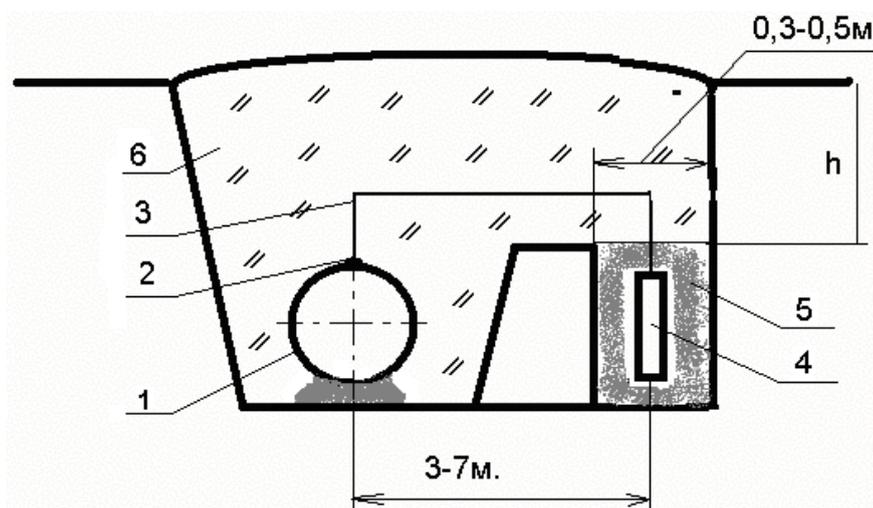


Рис. 3.6 Одиночная протекторная установка

1- трубопровод; 2- точка дренажа; 3-изолированный провод; 4- протектор; 5- 5-заполнитель; б-насыпной грунт; h-глубина промерзания грунта, 0,3 м.

Если состояние изоляционного покрытия трубопровода хорошее, применяют одиночные протекторные установки (ОПУ), которые располагают на расстоянии 3÷7 м от трубопровода. Глубина установки от поверхности земли до верха протектора должны быть не менее 2м и ниже промерзания грунта на 0,2м.

ОПУ устанавливают без измерительной колонки. Для отыскания протектора на трассе ставят опознавательный знак.

Групповые протекторные установки (ГПУ) применяют при защите участков трубопроводов с плохой изоляцией или неизолированных патронов на переходах трубопроводов через шоссейные и железные дороги для увеличения срока службы. Число протекторов в группе зависит от состояния изоляционного покрытия, диаметра трубопровода, удельного сопротивления грунта. ГПУ размещают на расстоянии 10-12м от оси трубопровода. Расстояние между протекторами в группе – 15м. Рекомендуется ГПУ располагать через 500-1000 м.

ГПУ имеют контрольно-измерительные колонки, в которые выводят изолированные провода и дренажный провод от трубопровода наличие в измерительной колонке переключек позволяет соединять протекторы между собой и трубопроводом, а при необходимости контроля – подключать контрольно-измерительные приборы.

Протекторы располагают по одну сторону от защищаемого трубопровода. Если защищают две параллельные нитки труб, протекторы устанавливаются с внешней стороны каждого трубопровода.

Протекторы могут устанавливаться вертикально в пробуренные скважины или горизонтально в общей траншее. Соединительный провод протектора присоединяют к трубопроводу термитной сваркой, а затем изолируют и засыпают.

### **3.3. Принципиальная схема действия дренажной защиты**

В большинстве случаев рельсы электрифицированных железных дорог и трамваев не имеют достаточной проводимости, в результате чего часть электрического тока стекает в почву. Такой ток называют блуждающим. Газопроводы, прокладываемые вблизи железных дорог, необходимо защищать от блуждающих токов, так как металлические газопроводы являются хорошими проводниками. В тех местах, где блуждающие токи из почвы входят в трубопровод, образуются катодные зоны, а в тех местах где токи выходят из трубопроводов в почву, образуются анодные зоны. В анодных зонах происходит активная коррозия металла трубы. Под воздействием блуждающих токов трубопроводы могут разрушаться насквозь в течение короткого периода, поэтому борьба с ними крайне необходима. Эффективным методом борьбы с коррозией, вызываемой блуждающими токами, является электрический дренаж, то есть отвод блуждающих токов через проводник от газопровода к источнику возникновения этих токов. Отводом токов по проводнику понижается потенциал газопровода по отношению к почве, чем ликвидируются анодные и знакопеременные зоны и прекращается утечка токов с газопровода в землю. В зависимости от расположения тяговых подстанций и других факторов электродренажные линии от газопровода сооружаются либо непосредственно на тяговую подстанцию (на минусовую шину), либо на рельсы железной дороги. При сооружении электродренажной линии на минусовую шину тяговой подстанции электродренаж может быть прямым или поляризованным. Прямо дренаж применяется то-

гда, когда потенциал газопровода больше, чем потенциал системы, в которую отводятся блуждающие токи. При сооружении электродренажной линии на рельсы электродренаж должен быть обязательно поляризованным. Поляризованный дренаж отличается от прямого тем, что в схему дренажа вводятся поляризованные дренажные установки, устраняющие возможность обратного течения электрических токов на газопровод. Электродренажная линия может быть кабельной или воздушной. На электродренажной линии устанавливают контрольно-измерительные приборы.

Наибольшее распространение на газопроводах получили универсальные поляризованные дренажные установки типа УПДУ-57.

### ***Устройства дренажной защиты от коррозии***

Электрический дренаж - это наиболее простой вид активной антикоррозионной защиты, не требующий источника тока. При использовании устройств дренажной защиты трубопровод электрически присоединяется к тяговым рельсам источника блуждающих токов. При этом, источником защитного тока является разность потенциалов «трубопровод-рельс», которая возникает в результате работы электрифицированного железнодорожного транспорта и наличия поля блуждающих токов. Протекание полученного дренажного тока создает требуемое смещение потенциала на защищаемой металлической конструкции или сооружении, расположенном ниже уровня грунта (Рис.3.7).

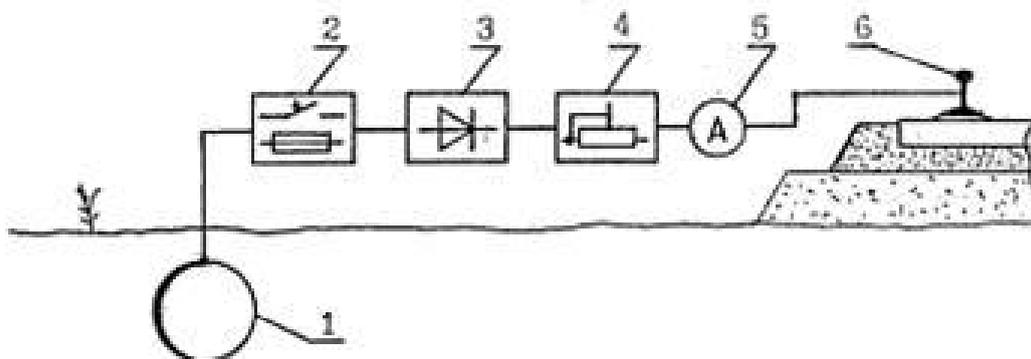


Рис.3.7. Конструктивное исполнение схемы дренажной защиты  
 1 – трубопровод; 2 - устройство защиты от максимальных токов; 3 - поляризованный элемент; 4 - устройство для регулирования тока; 5 - амперметр с шунтом; 6 - рельсовая сеть электрифицированной железной дороги

В большинстве случаев, в качестве защитного устройства используются плавкие предохранители, однако встречаются также и автоматические выключатели максимальной нагрузки с возвратом, которые восстанавливают цепь дренажа после прекращения тока, опасного для элементов установки.

В качестве поляризованного элемента могут использоваться вентиляльные блоки, которые собираются из нескольких лавинных кремниевых диодов, соединенных параллельно. Выбор класса диодов (по обратному напряжению)

происходит с оглядкой на величину импульса обратного напряжения на железных дорогах, который может достигать 1000 В.

Путем переключения активных резисторов в цепи дренажа и изменением сопротивления в этой цепи, происходит регулирование тока.

Дренажи могут выпускаться в исполнении от десятков до нескольких сотен ампер. В случаях, когда применение поляризованных устройств дренажной защиты является неэффективным, имеет смысл применение **усиленных или форсированных электродренажей**, которые представляют собой установку катодной защиты, где в качестве анодного заземлителя используются рельсы электрифицированной железной дороги (рис.3.8).

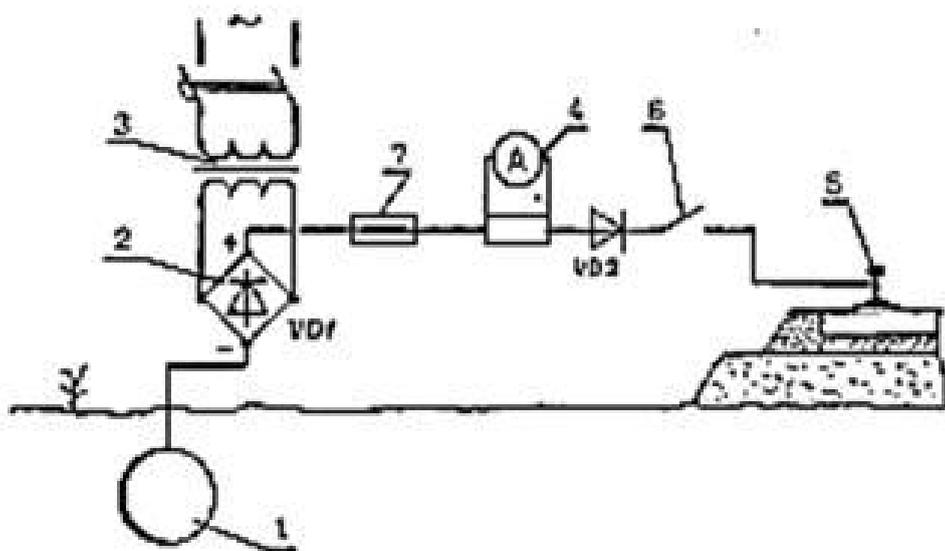


Рис.3.8 Конструктивное исполнение схемы усиленного дренажа  
1 – трубопровод; 2 – выпрямитель; 3 – трансформатор; 4 - амперметр с шунтом; 5 - рельсовая сеть электрифицированной железной дороги;  
6 – рубильник; 7 - предохранитель.

В качестве источника постоянного тока могут использоваться серийно выпускаемые преобразователи или специальные установки. Однако, необходимо учитывать то условие, что цепь постоянного тока преобразователя обтекает, помимо выпрямленного тока, еще и блуждающими токами, т.е. дренажной составляющей тока защиты, поэтому элементы этой цепи должны быть рассчитаны на больший ток, чем ток выпрямителя. Поскольку диоды выпрямителя, которые одновременно выполняют функцию поляризованного элемента схемы дренажа, не всегда соответствуют таким требованиям по обратному напряжению, в схему установки включены дополнительные вентили, которые предупреждают повреждение схемы преобразователя напряжением «рельс-труба».

## 4. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа – вид учебной деятельности, предназначенный для приобретения знаний, навыков и умений в объеме изучаемой дисциплины, который выполняется обучающимся индивидуально и предполагает активную роль обучающегося в ее планировании, осуществлении и контроле.

Самостоятельный труд развивает организованность, дисциплинированность, волю, упорство в достижении поставленной цели, вырабатывает умение анализировать факты и явления в достижении поставленной цели, вырабатывает умение анализировать факты и явления, учит самостоятельному мышлению, что приводит к развитию и созданию собственного мнения, своих взглядов.

Основные цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений, обучающихся;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов:
  - творческой инициативы;
  - самостоятельности;
  - ответственности;
  - организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

*Методические указания по самостоятельной работе.* Успешное изучение данной дисциплины возможно только при правильной организации самостоятельной работы обучающегося. Ни в какой мере нельзя ограничиваться только прослушиванием и конспектированием лекции. Она должна ознакомить обучающегося с сутью и основным содержанием той или иной темы. Лекция очерчивает круг вопросов, проблем, по которым обучающийся с помощью учебников, учебных пособий получает прочные, конкретные знания. Желательно ознакомиться с рекомендованной в программе курса литературой, дающей дополнительные знания по пройденному материалу.

Обучающийся должен понимать, что только он сам, самостоятельно, путем добросовестного усвоения содержания лекций, изучения учебной и дополнительной литературы, путем вдумчивой и добросовестной подготовки к занятиям может приобрести прочные и глубокие знания по курсу, которые необходимы не только для получения знаний, отвечающих требованиям высшего образования, но и для применения их на практике.

Наиболее традиционными и привычными являются следующие способы отыскания литературы: работа с библиографическими изданиями в библиоте-

ках; изучение специальных выпусков отсылок к литературе, систематизированных по отраслям деятельности, разделам либо конкретным проблемам; использование библиотечных каталогов, которые в настоящее время представлены преимущественно в виде электронных баз данных.

В порядке совета можно выделить несколько способов оценки научного текста:

- во-первых, определение предназначенности работы – полемическая, альтернативная, острокритическая, традиционная;
- во-вторых, сопоставление даты издания книги или журнала и изменений в законе, учитывая тенденции развития науки (например, выбирая учебник, желательно руководствоваться именно этим способом);
- в-третьих, сопоставление хотя бы нескольких литературных источников с тем, чтобы действительно оценить полноту разработки предмета, уровень и объем проводимых соображений;
- в-четвертых, консультирование с ведущим преподавателем.

## 5. ТЕСТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

*1. Ширина 2-х слойной полиэтиленовой ленты «Полилен» отечественного производства?*

- а) 500мм;
- б) 400мм;
- в) 450мм;
- г) 550мм;

*2. Сколько раз можно использовать термоусаживающиеся изделия?*

- а) Многократно;
- б) Два раза;
- в) Три раза;
- г) Один раз;

*3. Виды изоляционных и оберточных материалов, применяемых для изоляции трубопроводов?*

- а) Кремний, сталь;
- б) Клей, фум-лента;
- в) Бризол, битум;
- г) Паронит, минвата

*4. Контроль толщины грунтовки и изоляции должна проверяться на 10% труб и в местах, вызывающих сомнения в скольких точках?*

- а) В четырех точках;
- б) В трех точках;

- в) Количество точек не имеет значения;
- г) Согласно проекту;

5. *Какими приборами измеряется толщина изоляционного покрытия?*

- а) Ультразвуковыми;
- б) Толщиномерами;
- в) Доплерами;
- г) Все варианты правильные;

6. *К какому виду защитных материалов относятся битумно – резиновые покрытия поверхностей труб?*

- а) Комбинированным;
- б) Минеральным;
- в) Мастичным;
- г) Каучуковым;

7. *Наличие солей в грунте, особенно при повышенной влажности, способствует значительному увеличению электрической проводимости почвы и этому виду коррозии?*

- а) Химической;
- б) Катодной;
- в) Электрохимическая;
- г) Питтинговой;

8. *Технология изоляционных работ в трассовых условиях включает в себя следующие виды работ:*

- а) Очистка, сушка, подготовка; грунтовка и контроль;
- б) Подготовка, очистка, сушка, грунтовка и контроль;
- в) Подготовка, сушка, очистка, грунтовка и контроль;
- г) Очистка, подготовка, сушка, грунтовка и контроль;

9. *Что вызывает коррозию металлов и сплавов?*

- а) вода и кислород;
- б) краски;
- в) растворы химикатов;
- г) праймеры.

10. *Как называется более активный металл, предотвращающий коррозию менее активного металла?*

- а) активатор;
- б) протектор;
- в) катализатор;
- г) ингибитор.

*11. Что является причиной коррозии?*

- а) содержание в металле неметаллических примесей;
- б) термодинамическая неустойчивость металлов;
- в) внутренняя структура металла или сплава;
- г) температура почвы.

*12. Один из основных видов коррозии:*

- а) физическая;
- б) блуждающими токами;
- в) динамическая;
- г) внешняя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кац, Н. Г. Защита оборудования нефтегазопереработки от коррозии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. Г. Кац. – Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. – 104 с.
2. Матвеева, Л. Ю. Коррозия и защита строительных материалов. Часть 1. Коррозия и защита металлических, каменных и бетонных материалов и конструкций [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л. Ю. Матвеева. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 101 с.
3. Жарский, М. И. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.И. Жарский. – Минск : Вышэйшая школа, 2012. – 303 с.
4. Виноградова, С.С. Расчет показателей коррозии металлов и параметров коррозионных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.Л. Журавлев; Р.А. Кайдриков; С.С. Виноградова. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013. – 176 с.
5. Кушнарченко, В. М. Методы исследования сопротивления материалов воздействию коррозионных сред [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. М. Кушнарченко, Е. В. Ганин, Е. В. Кушнарченко. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 165 с.
6. ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – М.: Стандартинформ, 2006. – 59 с.
7. Методические указания к организации самостоятельной работы для студентов направлений подготовки 08.04.01 "Строительство", 13.04.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.04.01 "Нефтегазовое дело" всех форм обучения [Текст] / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : С. Г. Тульская, Г. Н. Мартыненко, Н. А. Петрикеева, Н. В. Колосова. - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. – 12 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Коррозия металла и виды коррозии.....	3
2. Защита газопроводов от коррозии. Виды защиты.....	5
2.1. Пассивная защита.....	5
2.1.1. Защита трубопроводов от коррозии с использованием современных изоляционных покрытий.....	5
2.1.2. Основные типы современных антикоррозионных покрытий трубопроводов заводского и трассового нанесения.....	6
3. Активная защита газопроводов.....	9
3.1. Принципиальная схема действия катодной защиты.....	9
3.2. Принципиальная схема действия протекторной защиты.....	11
3.2.1. Конструкция протекторов.....	20
3.3. Принципиальная схема действия дренажной защиты.....	23
4. Организация самостоятельной работы.....	26
5. Тесты для самоконтроля.....	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	30

## ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к проведению практических занятий и  
выполнению самостоятельной работы  
для студентов направлений 08.03.01 «Строительство»,  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
21.03.01 «Нефтегазовое дело», 08.04.01 «Строительство»,  
13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
21.04.01 «Нефтегазовое дело»,  
всех форм обучения

### **Составители:**

**Мартыненко** Галина Николаевна  
**Китаев** Дмитрий Николаевич  
**Петрикеева** Наталья Александровна  
**Тульская** Светлана Геннадьевна

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 17.06.2022.

Уч.-изд. л. 1,7.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84