

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

**Направление подготовки** (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

**ООП** «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

**Отделение школы** Отделение нефтегазового дела

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

<b>Тема работы</b>
<b>«Организация работ системы электрохимической защиты линейной части участка магистрального нефтепровода ВСТО»</b>

УДК 620.197.3.5:622.692.4

**Студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович		

**Руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД	Антропова Н.А.	к.г.-м.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Креницына З.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		

Томск – 2023 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

По основной образовательной программе подготовки бакалавров  
по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профиль подготовки «Эксплуатация и  
обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально- историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
<b>УК(У)-9</b>	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
<b>УК(У)-10</b>	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен понимать принципы работы современных

	информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии
<b>ОПК(У)-7</b>	Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными правовыми актами
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен осуществлять и корректировать технологические процессы нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-2</b>	Способен проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-3</b>	Способен выполнять работы по контролю безопасности работ при проведении технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-4</b>	Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-5</b>	Способен обеспечивать заданные режимы эксплуатации нефтегазотранспортного оборудования и контролировать выполнение производственных показателей процессов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
<b>ПК(У)-6</b>	Способен проводить планово-предупредительные, локализационно-ликвидационные и аварийно-восстановительные работы линейной части магистральных газонефтепроводов и перекачивающих станций
<b>ПК(У)-7</b>	Способен выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
<b>ПК(У)-8</b>	Способен использовать нормативно-технические основы и принципы производственного проектирования для подготовки предложений по повышению эффективности работы объектов трубопроводного транспорта углеводородов

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

**Направление подготовки** (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

**ООП** «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

**Отделение школы** Отделение нефтегазового дела

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович

Тема работы:

<b>«Организация работ системы электрохимической защиты линейной части участка магистрального нефтепровода ВСТО»</b>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>В качестве объекта исследования была выбрана организация работ электрохимической защиты с целью обеспечения дополнительной защиты нефтепроводов от коррозии. Работы проводятся на объектах, относящихся к технологическим сооружениям повышенной опасности, имеющие большое влияние на окружающую среду и энергозатраты.</p>
<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучить теоретические аспекты образования коррозии нефтепроводов и методы защиты от коррозии.</li> <li>2. Проанализировать основные методы коррозионной защиты нефтепроводов.</li> <li>3. Произвести анализ расчета станций катодной защиты при организации коррозионной защиты с целью обеспечения безопасности и надежности нефтепроводов.</li> </ol>

процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность 6. Формирование выводов о проделанной работе.
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Креницына З.В. доцент
«Социальная ответственность»	Гуляев М.В.
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Чухарева Н.В.	к.х.н., доцент		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович		

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ и  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделения нефтегазового дела</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

<b>И</b>	
стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Материально-технические: материальные затраты, затраты на оборудование - Человеческие: затраты по основной заработной плате, затраты по дополнительной заработной плате, отчисления во внебюджетные фонды
ормы и нормативы расходования ресурсов	Нормативные справочники. Налоговый кодекс
спользуемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений, в том числе отчисления во внебюджетные фонды – 30,2 %.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ	Технико-экономическое обоснование проекта Анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Произвести расчет затрат на специализированное оборудование с использованием актуальных цен.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение экономической эффективности и ресурсоэффективности исследования

<b>Дата выдачи задания для раздела в соответствии с календарным учебным графиком</b>	
--	--

**Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Креницына З.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович		

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

**Обучающемуся:**

<b>Группа</b> 3-2Б8А2	<b>ФИО</b> Нимаев Тимур Баирович
--------------------------	-------------------------------------

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделения нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<b>Введение:</b> Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<b>Объект исследования:</b> система электрохимической защиты магистрального нефтепровода. <b>Область применения:</b> защита магистрального нефтепровода от коррозии.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия.	– ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
<b>2. Производственная безопасность:</b> – Анализ потенциальных вредных и опасных факторов; Обоснование мероприятий по снижению их воздействия	<b>Вредные факторы:</b> – Повышенный уровень шума; – Повышенный уровень общей вибрации; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенная или пониженная влажность и температура рабочей зоны. <b>Опасные факторы:</b> – Воздействие на человеческий организм вредных веществ (запыленность, загазованность, сварочная аэрозоль) <b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> нормирование рабочего времени на открытом воздухе, система обогрева и мероприятий по обеспечению обогрева,

	использование средств защиты органов дыхания и кожных покровов (перчатки, очки, спецодежда), предупредительные вывески и сигналы при работе оборудования, соблюдения условий и правил эксплуатации оборудования и электрических приборов.
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Воздействие на литосферу:</b> загрязнение грунта нефтепродуктами в результате аварийных ситуаций;</li> <li>– <b>Воздействие на гидросферу:</b> попадание токсических выбросов в сточные воды, водоемы;</li> <li><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы пыли и токсичных газов из используемых машин и оборудования.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p><b>Возможные ЧС:</b> пожары, отравления вредными веществами, стихийные бедствия</p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b> Возникновение пожара</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела в соответствии с календарным учебным графиком</b>	
--	--

**Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович		

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

**Направление подготовки** (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

**ООП** «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

**Отделение школы** Отделение нефтегазового дела

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Б8А2	Нимаев Тимур Баирович

Тема работы:

<b>«Организация работ системы электрохимической защиты линейной части участка магистрального нефтепровода ВСТО»</b>
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2023	<i>Введение</i>	5
27.02.2023	<i>Обзор литературы</i>	10
08.03.2023	<i>Объект и метод исследования</i>	10
23.02.2023	<i>Расчеты и аналитика</i>	15
13.04.2023	<i>Анализ методов повышения безопасности эксплуатации складов нефти и нефтепродуктов</i>	10
20.04.2023	<i>Технология работ</i>	15
11.05.2023	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
30.05.2023	<i>Социальная ответственность</i>	10
02.06.2023	<i>Заключение</i>	5
10.06.2023	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Антропова Н.А.	к.г.-м.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Чухорева Н.В.	к.х.н., доцент		

**Обучающийся**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Б8А2	Нимаев Т.Б.		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 99 с., 18 рис., 11 табл., 22 источника.

Ключевые слова: Электрохимическая защита, коррозия, методы защиты от коррозии, магистральный трубопровод, отказ трубопровода, станция катодной защиты, минимальный и максимальный защитный потенциал, анодный заземлитель, анодная защита.

Объектом исследования является магистральный нефтепровод.

Цель данной дипломной работы состоит в разработке оптимальной организации работ системы электрохимической защиты линейной части участка магистрального нефтепровода ВСТО.

В ходе исследования были произведены расчет станций катодной защиты при организации коррозионной защиты. Также были описаны действия по обеспечению безопасности при проведении работ на станциях катодной защиты, защите окружающей среды и представлена технико-экономическая часть.

Область применения: магистральные трубопроводы с применением активной электрохимической защиты.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

ВКО - высокая коррозионная опасность;  
КЗП - катодно-защищаемая поверхность;  
КИП - контрольно-измерительный пункт;  
КПД - коэффициент полезного действия;  
ЛЭП - линия электропередач;  
НТД - нормативно-техническая документация;  
НИИ - научно-исследовательский институт;  
НПС - нефтеперекачивающая станция;  
МН - магистральный нефтепровод;  
МТ - магистральный трубопровод;  
ООО - общество с ограниченной ответственностью;  
ОАО - открытое акционерное общество;  
ПАО - публичное акционерное общество;  
ПКО - повышенная коррозионная опасность;  
ПП - промышленная площадка;  
СКЗ - станция катодной защиты;  
ТНН - транспорт нефти и нефтепродуктов;  
УКЗ - установка катодной защиты;  
УКО - умеренная коррозионная опасность;  
ЦППН - цех подготовки и перекачки нефти;  
ЭС - электрод сравнения;  
ЭХЗ - электрохимическая защита.

## Оглавление

Введение.....	16
1. Общие понятия о коррозии.....	18
1.1. Понятие коррозии нефтепроводов.....	18
1.2. Классификация коррозионных поражений нефтепроводов и резервуаров.....	19
1.3. Химическая коррозия .....	21
1.4. Электрохимическая коррозия.....	22
1.5. Способы защиты трубопроводов от коррозии.....	23
1.6. Химическая защита нефтепроводов от коррозии .....	25
1.7. Физическая защита нефтепроводов.....	29
2. Электрохимическая защита магистральных нефтепроводов.....	32
2.1. Понятия и принципы электрохимической защиты .....	32
2.2. Принцип анодной защиты.....	33
2.3. Катодная защита от коррозии внешним источником тока .....	34
2.4. Критерии электрохимической защиты .....	50
3. Расчётная часть.....	60
3.1 Методы анализа .....	60
3.2 Расчет параметров установок катодной защиты.....	60
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
4.1. Расчёт капитальных затрат. ....	69
4.2. Расчёт эксплуатационных издержек.....	78
4.3. Расчёт экономической эффективности.....	80
5. Социальная ответственность .....	82
5.1. Производственная безопасность.....	82
5.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	85
5.3. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	90
5.4. Экологическая безопасность .....	93
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	95
Заключение.....	96

Список литературы..... 98

## Введение

В современных условиях защита от коррозии магистральных газопроводов в процессе длительной эксплуатации является одним из важнейших способов обеспечения их безотказной работы. В настоящее время в России протяженность трубопровода ВСТО составляет около 4 тыс. 740 км. Из них больше 63% трубопроводов используются более 15 лет. При одновременном воздействии коррозионных сред трубы эксплуатируются при рабочих давлениях до 14 МПа. Коррозионный отказ является главным фактором, понижающим надежность.

Существуют множество систем классификации коррозии, но наиболее распространенные ее формы были описаны в сороковые годы прошлого века М. Фонтана в серии статей, написанных им для *Chemical and Engineering News*, а затем опубликованных в виде научного пособия во время его преподавательской деятельности в университете штата Огайо.[2]

Коррозия – это самопроизвольный физико – химический процесс разрушения металла. Его актуальность на сегодняшний день является один из самых сложных проблем в сфере нефтегазовой отрасли. На основе нормативных документов, государственных стандартов или других технологических инструкций разрабатывают план мероприятий по защите от коррозии.

На магистральных и промысловых трубопроводах строго обязано иметь изоляционное покрытие, средства электрохимической защиты или других альтернативных вариантов. Для того, чтобы осуществить защиту, надо учесть факторы, такие как: проект строительства трубопровода, технологический режим работы, состояние почвы, климата и коррозионные условия трассы.

Главная задача нефтяных и нефтедобывающих предприятий – это бесперебойная транспортировка нефти по трубопроводу.

Цель работы – повышение эксплуатационных свойств магистрального нефтепровода путем применения метода катодной защиты с анодным заземлением.

Задачи, поставленные на основе цели:

1. Изучение основных нормативных документов по электрохимической защите подземных трубопроводов;
2. Анализ методов борьбы с коррозией трубопроводов при подземной прокладке;
3. Противокоррозионный расчет электрохимической защиты на произвольном участке ВСТО.
4. Разработка рекомендации по применению метода катодной защиты с анодным заземлением с подбором оборудования.

## 1. Общие понятия о коррозии

### 1.1. Понятие коррозии нефтепроводов

Металлы, кроме золота, платиновых групп и некоторых других, не встречаются в природе в своем чистом виде. Обычно они находятся в виде соединений, связанных с другими элементами химической связью.

Чистые металлы характеризуются более высокой внутренней энергией по сравнению с металлами, представленными в форме солей или оксидов. Это связано с тем, что все вещество во Вселенной стремится вернуться в свое низшее энергетическое состояние, и чистые металлы также стараются вернуться в свое низшее состояние, которое они имели в виде сульфидов или оксидов. Коррозия является одним из способов принятия более низкого уровня энергии металла.

Хотя существует множество определений понятия "коррозия", международная ассоциация инженеров-коррозионистов NACE («National Association of Corrosion Engineers») определяет коррозию как самопроизвольное разрушение металла, вызванное его химическим, электрохимическим или физико-химическим взаимодействием с окружающей средой.

Процесс коррозии называется "коррозионным процессом", а результатом этого процесса является "коррозионное разрушение".

Коррозионное разрушение - это электрохимический или химический процесс разрушения металлических изделий, который происходит на поверхности на границе раздела фаз.

Коррозия приводит к ухудшению физико-механических и технологических свойств металлов и сплавов.

В результате коррозионного процесса металлический материал или сплав окисляется, что приводит к потере его свойств. Этот процесс может происходить двумя способами: химическим и электрохимическим. Поэтому можно выделить два основных механизма коррозии металлов - химический и электрохимический.

## 1.2. Классификация коррозионных поражений нефтепроводов и резервуаров

Существует несколько принципов классификации коррозионных процессов, которые представлены на рис. 1.



## *Рисунок 1 – Характер коррозионных разрушений*

По механизму протекания химической реакции:

- Химическая – это один из видов коррозионного разрушения, последствием реакции коррозионной среды и металла.
- Электрохимическая – это вид коррозионного разрушения, который наблюдается при электрическом контакте металла и коррозионной среды. Сам процесс протекает не одновременно.

По условиям протекания:

- атмосферная коррозия – это коррозия, содержащая пары воды, в атмосфере воздуха или другого газа
- газовая – это коррозия при значительных высоких температурах и под воздействием газов;
- жидкостная – это коррозия, процесс которого происходит в жидкой среде. Различается на коррозию в неэлектролитах и электролитах;
- почвенная – это коррозия металлических сооружений и конструкций при среде почвенных электролитов;
- биокоррозия – это коррозия, разрушение которого происходит на основе влияния живых микроорганизмов;
- структурно - избирательная – это коррозионный процесс, при котором одна из фазовых составляющих сплава удаляется и создается измененная остаточная структура;
- коррозия из-за блуждающих токов – это коррозия, разрушение которого происходит на основе влияния блуждающего ток;
- коррозия контактная – это вид коррозии при котором коррозионная стойкость двух разных по свойствам металлов имеет различные значения потенциала на границе контакта в присутствии электролита;
- щелевая коррозия – вид поражения, которое развивается в щелях и зазорах с большой скоростью.;

- коррозионная кавитация – это коррозия, которая рушит металлическую поверхность при одновременном взаимодействии коррозионного процесса и ударного воздействия внешней среды;

- коррозия трения – это коррозия, которая появляется при воздействии коррозионной среды и металл трения одновременно[2];

По характеру разрушения коррозионного:

- сплошная - охватывает все поверхности металлов, которые находятся под действием среды коррозионной;

- местная – растет только на некоторых зонах поверхностей металлов.

Сплошной вид коррозии разделяется на:

неравномерную, избирательную и равномерную.

Местная коррозия различается: питтинговой, пятнами, язвенной, межкристаллитная, сквозная, нитевидной, ножевой, подповерхностной, коррозионной хрупкостью и коррозионным растрескиванием.

Электрохимическая коррозия происходит на поверхностях металлов из – за окисления в электролите – коррозионной среде.

В качестве электролита могут быть морская и грунтовая вода, вода рек, щелочей, растворы кислот, болот, солей и т.д. Основная особенность этого вида является то, что сам процесс протекает с помощью тока электрического.

Данная коррозия в использовании подземного трубопровода более подвержена ему, а именно на наружных поверхностях резервуаров и трубопроводов, воздействующимися атмосферными и почвенными электролитами[6].

### **1.3. Химическая коррозия**

Химическая коррозия – это процесс окисления металла, который не связан с электрохимическими реакциями и возникает под воздействием агрессивных реагентов, например, сухих газов (NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) или неэлектролитных жидкостей. Примером таких жидкостей могут служить растворы неорганических

веществ в органических растворителях. Обычно процесс химической коррозии происходит при высоких температурах, что приводит к равномерному распределению оксидной пленки по поверхности металла. В сухом воздухе все металлы покрыты тонким слоем оксида, который образуется в результате химической коррозии с кислородом воздуха. При повышенных температурах реакция может продолжаться без ограничений, что приводит к полному окислению металла. Однако при комнатной температуре скорость реакции очень низкая, и слой оксида остается тонким. Эти слои оксида отлично защищают металл от дальнейшей коррозии, поскольку оксидные пленки, образованные на поверхности металла, защищают его лучше, чем сам металл. Сплошность оксидных пленок зависит от их защитных свойств.

Оценка однородности оксидных пленок выполняется с помощью коэффициента Пиллинга – Бэдвордса, который выражается следующим образом:

$$\alpha = V_{\text{ок}} / V_{\text{Ме}},$$

где  $V_{\text{ок}}$  - молярный объем оксидной пленки, а  $V_{\text{Ме}}$  - молярный объем металла. Данный коэффициент отражает соотношение объемов металла и оксида при их взаимодействии. Один из примеров химической коррозии – это коррозия железа в атмосфере высокой влажности. Реакции, приводящие к образованию оксидных пленок, представлены следующим образом:



#### **1.4. Электрохимическая коррозия**

Электрохимическая коррозия металлов является процессом, при котором металлы разрушаются в средах электролитов и растворов, которые проводят электрический ток. В этом процессе происходят два основных процесса: анодный и катодный. В анодном процессе металл окисляется и растворяется, а в катодном процессе происходит восстановление. Деполяризацией называется процесс удаления электронов из узлов кристаллической решетки металла,

который может быть стимулирован деполяризаторами. Наиболее распространены электрохимические коррозии металлов с водородной и кислородной деполяризацией. Водородная деполяризация происходит на катодном участке при коррозии в кислых средах, а кислородная деполяризация – в нейтральных средах.

В периодической таблице химических элементов все металлы можно разделить на 4 группы в зависимости от их поведения при электрохимической коррозии. Границы групп определяются значениями стандартных электродных потенциалов металлов.

Первая группа включает активные металлы, которые имеют высокую термодинамическую нестабильность. Эти металлы, начиная от лития до кадмия, корродируют даже в нейтральной среде при отсутствии деполяризаторов.

Вторая группа составляют металлы средней активности, которые имеют термодинамическую нестабильность и находятся между кадмием и водородом. В нейтральной среде они устойчивы к коррозии при отсутствии деполяризаторов, но неустойчивы в кислых условиях.

Третья группа малоактивных металлов, таких как серебро, медь, полоний, ртуть и таллий, имеет коррозионную стойкость в нейтральных и кислых средах при отсутствии окислителей, таких как кислород или хлор.

Благородные металлы, такие как платина, палладий, иридий и золото, имеют высокую термодинамическую стабильность. Они подвергаются коррозии только в кислых средах при наличии сильных окислителей, таких как атмосфера фтора или царская водка.

## **1.5. Способы защиты трубопроводов от коррозии**

Методы защиты магистрального нефтепровода от коррозии можно классифицировать по следующим направлениям:

1. Создание антикоррозионных сплавов (легирование).
2. Увеличение чистоты индивидуального металла.

3. Механическая и химическая пассивация металлов (железо, никель, кобальт, магний в растворах щелочей; образование оксидной пленки, например, на алюминии и др.).

4. Покрытие поверхности металла различными защитными пленками. Пленки разделяют на:

- неметаллические (краски, лаки, смазочные материалы);
- металлические: анодные, катодные [4].

Анодным называют покрытие, образованное металлом, стоящим в ряду напряжений до металла, защищающие (покрытие более активным металлом; например, покрытие железа цинком, кадмием). При местных разрушениях покрытия корродировать будет менее благородный металл, поскольку будет образовываться локальный гальванический элемент, в котором катодом является металл, что защищают (основной металл), а анодом - покрытие, которое окисляется. При анодной защите сплошность покрытия значения не имеет. Чем толще анодное покрытие, тем дольше оно будет защищать другой металл [1].

Катодными называют покрытие металлом с большим потенциалом (указанием потенциала в ряду напряжений стоит после металла, которые защищают, например покрытие низколегированных сталей медью, оловом, никелем, серебром). Покрытие должно быть сплошным, так как при его повреждении будут образовываться локальные гальванические элементы, в которых основной металл будет анодом (корродуем), а металл покрытия - катодом.

5. Электрохимическая защита [4]:

- катодный - создание катодной поляризации: металлическое изделие подключается к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока (становится катодом, при этом возрастает скорость выделения на нем водорода, а скорость коррозии снижается), а к положительному полюсу присоединяют малоценный металл; в такой способ весьма часто защищают подземные трубопроводы;

- защитный - аналогичный анодного покрытия: соединяют основной металл с другим металлом (протектором), который в ряду напряжений расположен левее. Образуется гальванический элемент, в котором основной металл - катод, а протектор - анод (корродирует). Часто для протекторной защиты применяют магний или алюминий (защищают рельсы, мачты и другие конструкции). Протектор постепенно растворяется, поэтому его нужно периодически заменять. Протекторная защита эффективна в токовой проводящей среде (например, в морской воде).

б. Воздействие на агрессивную среду - этот метод является эффективным тогда, когда речь идет о не очень большой объем токопроводящей жидкости:

- деаэрация-извлечение кислорода из агрессивной среды вследствие продувания инертным газом;

- введение в среду ингибиторов - замедлителей коррозии. Например, в случае кислотной коррозии обычно это органические вещества, молекулы которых содержат амино-, имино-, тио- и другие группы. Они хорошо адсорбируются на поверхности металла и существенно снижают скорость электрохимических реакций, приводящих к коррозии [1].

### **1.6. Химическая защита нефтепроводов от коррозии**

Ингибиторная защита наиболее простая и по оборудованию не занимающая много дополнительной техники и средств технология, способствующая защите трубопроводов. Наиболее часто ингибиторы мешают с водой закачиваемую в пласт, потому как большинство месторождений имеют поздние стадии разработки, которые характеризуются высокой обводненностью что способствует увеличению коррозионной активности. Поэтому при добыче на 3 и 4 стадии разработки нефти характеризуется, тем что нефть будет смешана с большим количеством воды здесь и поможет ингибиторная защита.

Ингибиторы коррозии предназначены для понижения воздействия

окружающей среды, а также для уменьшения соприкосновения трубопровода с жидкостью. У ингибиторов защит есть критерии применимости, к примеру, на месторождении ингибитор должен защитить трубопровод как при высоких показателях давления и температур, так и при обычных условиях (температура 40 °С и нормальном атмосферном давлении) поэтому тщательно подобранный ингибитор является важной частью в борьбе с коррозией [13].

Ингибиторы - это химические вещества, которые вступают в реакцию с металлической поверхностью или окружающей средой, которой подвергается эта поверхность, обеспечивая поверхности определенный уровень защиты. Ингибиторы часто работают, адсорбируясь на металлической поверхности, защищая металлическую поверхность, образуя пленку. Ингибиторы обычно распределяются из раствора или дисперсии. Некоторые из них включены в состав защитного покрытия. Ингибиторы замедляют процессы коррозии за счет:

- Увеличение свойств анодной или катодной поляризации (наклона Тафеля)
- Уменьшение перемещения или диффузии ионов на металлическую поверхность
- Повышение электрического сопротивления металлической поверхности

В мире нет точной классификации ингибиторов поэтому разные авторы по-разному классифицируют данные вещества в своих статьях, к примеру, по их функциональности:

- Неорганические ингибиторы: Обычно кристаллические соли, такие как хромат натрия, фосфат или молибден. Только отрицательные анионы этих соединений участвуют в уменьшении коррозии металла. Когда цинк используется вместо натрия, катион цинка может добавить некоторый полезный эффект. Эти соединения с добавлением цинка называются ингибиторами смешанного заряда.

- Органический анион: Сульфонаты натрия, фосфонаты или МБТ обычно используются в охлаждающих водах и растворах антифриза.

- Органический катионный: в концентрированных формах это либо жидкости, либо воск, как твердые вещества. Их активные части, как правило, представляют собой крупные алифатические или ароматические соединения с положительно заряженными аминными группами.

Однако на сегодняшний день наиболее популярная схема организации состоит из перегруппировки ингибиторов коррозии в функциональную схему следующим образом [14].

Пассивирующие ингибиторы вызывают большой анодный сдвиг потенциала коррозии, заставляя металлическую поверхность переходить в диапазон пассивации. Существует два типа ингибиторов пассивации: окисляющие анионы, такие как хромат, нитрит и нитрат, которые могут пассивировать сталь в отсутствие кислорода, и неокисляющие ионы, такие как фосфат, вольфрамат и молибдат, которые требуют присутствия кислорода для пассивации стали.

Катодные ингибиторы либо замедляют саму катодную реакцию, либо селективно осаждаются на катодных участках, чтобы увеличить поверхностное сопротивление и ограничить диффузию восстанавливаемых видов в эти области. Катодные ингибиторы могут обеспечивать ингибирование тремя различными механизмами: (1) как катодные яды, (2) как катодные осадки и (3) как поглотители кислорода.

Как анодный, так и катодный эффекты иногда наблюдаются в присутствии органических ингибиторов, но, как правило, органические ингибиторы воздействуют на всю поверхность корродирующего металла, когда присутствуют в достаточной концентрации. Органические ингибиторы, обычно обозначаемые как пленкообразующие, защищают металл, образуя гидрофобную пленку на поверхности металла. Их эффективность зависит от химического состава, молекулярной структуры и сродства к поверхности металла

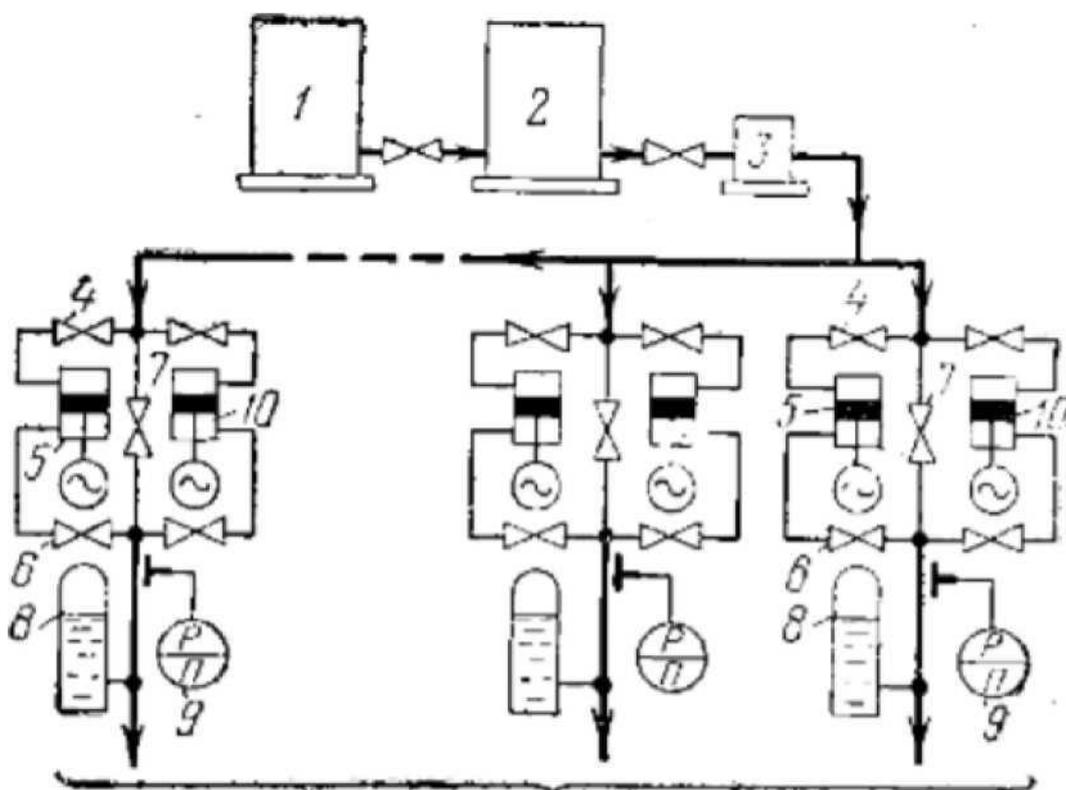
Эти материалы создают защитную пленку из адсорбированных молекул на поверхности металла, которая обеспечивает барьер для растворения металла в электролите.

Ингибиторы, вызывающие осаждение, представляют собой пленкообразующие соединения, которые оказывают общее действие на поверхность металла, блокируя как анодные, так и катодные участки косвенно. Ингибиторы - осадки - это соединения, которые вызывают образование осадков на поверхности металла, обеспечивая тем самым защитную пленку. Жесткая вода с высоким содержанием кальция и магния менее агрессивна, чем мягкая вода, из-за склонности солей в жесткой воде осаждаться на поверхности металла и образовывать защитную пленку.

Наиболее распространенными ингибиторами этой категории являются силикаты и фосфаты [15].

Летучие ингибиторы коррозии (ЛИК), также называемые ингибиторами паровой фазы, представляют собой соединения, транспортируемые в закрытой среде к месту коррозии путем испарения из источника.

Ввод ингибитора осуществляется на месторождении по следующей блок-схеме рисунок 2:



## *Рисунок 2 Технологическая схема подачи ингибитора*

Мощность насосов 5,10 регулируется с помощью гаек, изменяющие ход плунжера насоса. Нужное нам вещество поступает из емкости 2 к насосам, которая в свою очередь объединена с резервом емкостью

1. Имеется так же фильтр очистки, предохранительный клапан защищающий насос от повреждений, при увеличении давления на 30 % больше рабочего предохранительный клапан водит раствор к емкости

2. Чтобы перекрыть попадания жидкости туда куда нам нужно, имеются вентили 4,6,7 которые при закрытии перекрывают ингибитора провод. 8-это пневматический гидроаккумулятор, который сглаживает пульсирующий расход вещества. Так же присутствует манометр 9.

### **1.7. Физическая защита нефтепроводов**

Применение коррозионностойких материалов, включает в себя определенные компоненты из чего будет состоять трубопровод, например, легированная сталь, то есть металл в сплаве будет содержать компоненты, которые меньше подвержены коррозии, например, легирование хромом или цинком мало склонного к пассивному воздействию. Но при введении этого способа самый главные недостаток-это высокая стоимость этих легированных металлов.

Так же к этому методу борьбы можно отнести использование защитных покрытий, которые будут противостоять агрессивным средам в трубопроводе. В основном внутренние покрытия встречаются в виде: эпоксидных, фенольных, эпоксидофенольных, нейлоновых и др. В современном производстве существует много способов нанесения защитного покрытия на трубопровод, к таким относится плазменное, металлизационное, напыление с помощью газоплазмы и другое.

К этим инновациям относятся металлопластмассовые трубы у них существует несколько преимуществ - вот, например, стойкость к агрессивным средам, а также уменьшение осадка парафина-смолистых отложений, то есть уменьшение скопления их внутри трубопровода.

К недостатку данного метода стоит отнести, долгую подготовку поверхности и достаточное количество требований к ней, высокая цена на продукт, покрытия разрушение покрытия при высоких температурах в силу их низких термостойкостей, а также трудозатраты на проведение работ по нанесению их на поверхность.

Так же существуют изделия из силикатно-эмалевых покрытием. Здесь к плюсам можно отнести более высокую термостойкость, такие поверхности можно использовать при температуре флюида от -60 до +350 °С. Высокая стойкость к абразивному износу. Наглядное применение защитного покрытия показано на рисунке 3 [21].



*Рисунок 3 - Нанесенное защитное покрытие на внутреннюю часть*

3.  
нефтепроводов [22].

## 2. Электрохимическая защита магистральных нефтепроводов

### 2.1. Понятия и принципы электрохимической защиты

Методом электрохимической защиты металла от коррозии называется процесс, который осуществляется путем применения внешнего источника тока или соединения с металлом, известным как протектор, имеющим более отрицательный или более положительный потенциал, чем защищаемый металл.

На рисунке 4.1 представлена классификация методов электрохимической защиты трубопроводов от почвенной коррозии.



*Рис. 4.1. Способы электрохимической защиты трубопроводов от почвенной коррозии*

Обычно для защиты трубопроводов от коррозии применяются следующие методы электрохимической защиты:

1. Катодная защита с использованием внешнего источника тока, который поляризует трубопровод в катодном направлении. Этот метод называется катодной защитой внешним источником тока.

2. Протекторная защита, при которой используется электрод с более отрицательным потенциалом, чем защищаемый металл. Этот электрод, известный как протектор, помогает защитить трубопровод.

3. Анодная защита, которая осуществляется путем анодной поляризации с помощью внешнего источника тока или с использованием электрода с более положительным потенциалом. Однако данный метод не

широко применяется на трубопроводах из-за низкого пассивирующего эффекта металла, используемого для их изготовления.

4. Электродренажная защита на участках трубопровода, подверженных воздействию блуждающих токов (БТ) от электрифицированного железнодорожного транспорта. Классификация способов защиты в условиях БТ приведена на рисунке 4.2.



Рис. 4.2. Способы электрохимической защиты трубопроводов в условиях действия блуждающих токов.

При изучении указанных методов защиты можно заметить, что все они направлены на изменение электрического потенциала трубопровода, чтобы защитить его от коррозии в окружающей среде (грунте), в которой он находится.

## 2.2. Принцип анодной защиты

Метод анодной поляризации позволяет снизить скорость коррозии путем перевода металла в пассивное состояние. Этот способ электрохимической защиты эффективен для металлов и сплавов, которые легко пассивируются в окислительных средах, особенно в отсутствие активных депассиваторов.

Некоторые металлы, такие как железо и нержавеющие стали, могут быть надежно защищены путем сдвига их потенциала в положительном направлении, в пассивную область анодной поляризационной кривой. Это значение потенциала обычно поддерживается автоматически с помощью потенциостата.

Анодная защита применяется при транспортировке серной кислоты и может использоваться также для других кислот, щелочей и солевых растворов. Технологические установки описываются, которые позволяют защитить мягкую сталь от равномерной коррозии в растворах, содержащих  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , углеродистую сталь в 86%-м растворе обработанной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при температурах до  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , а также углеродистую сталь в растворе щавелевой кислоты концентрацией 0,1-0,7N при температурах до  $50\text{ }^\circ\text{C}$ .

Однако для защиты наружной поверхности подземных трубопроводов, проложенных в грунте, анодная защита неэффективна. Она может применяться для защиты внутренней поверхности трубопровода при транспортировке агрессивных сред, содержащих кислоты, сероводород и другие вещества (рис. 4.3.).

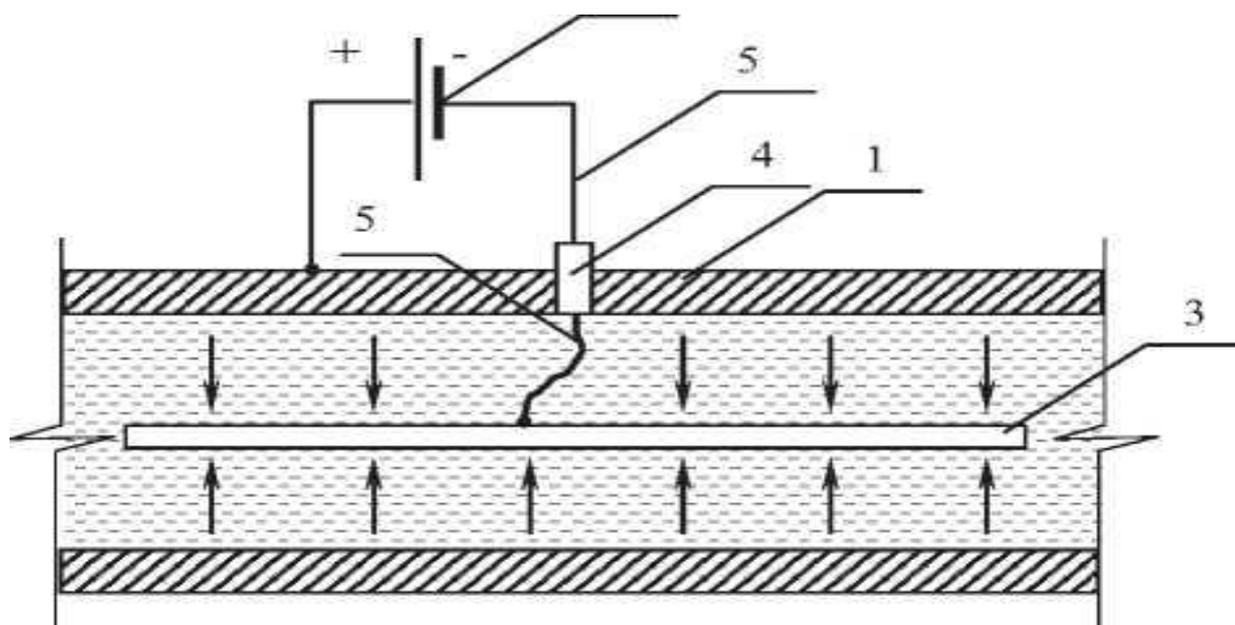


Рис. 4.3. Простейшая схема реализации анодной защиты внутренней поверхности трубопровода от коррозии в условиях транспорта коррозионно-активных сред: 1 - защищаемый трубопровод (анод); 2 - источник катодного тока; 3 - катод; 4 - узел ввода катодной линии; 5 - электрические проводники

### 2.3. Катодная защита от коррозии внешним источником тока

Метод анодной поляризации позволяет снизить скорость коррозии путем перевода металла в пассивное состояние. Этот способ электрохимической защиты эффективен для металлов и сплавов, которые легко пассивируются в окислительных средах, особенно в отсутствие активных депассиваторов.

На практике защиты от коррозии нефтегазопроводов наиболее распространенными методами электрохимической защиты являются методы, связанные с катодной поляризацией трубопровода с помощью внешнего источника постоянного тока. Для защиты линейных участков магистральных трубопроводов и трубопроводов на компрессорных и насосных станциях применяются станции катодной защиты, которые представляют собой внешние источники тока.

Катодная электрохимическая защита металлических конструкций от коррозии заключается в подключении источника поляризующего тока (катодной станции) к защищаемой конструкции. При катодной защите трубопровода, под действием постоянного тока, протекающего из грунта в трубопровод по разности потенциалов "сооружение-земля" (рис. 4.4), происходит поляризация трубопровода. Таким образом, трубопровод имеет отрицательный потенциал по отношению к окружающему грунту.

Механизм катодной защиты трубопроводов от коррозии с использованием катодной станции заключается в том, что при протекании электрического тока через границу защищаемого металла трубы с коррозионной средой, поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, что приводит к снижению ее потенциала и практически полному прекращению коррозионного разрушения. Независимо от того, является ли внешний источник электрического тока (катодная станция) или протектор источником поляризующего тока на этой границе, механизм защиты остается неизменным.

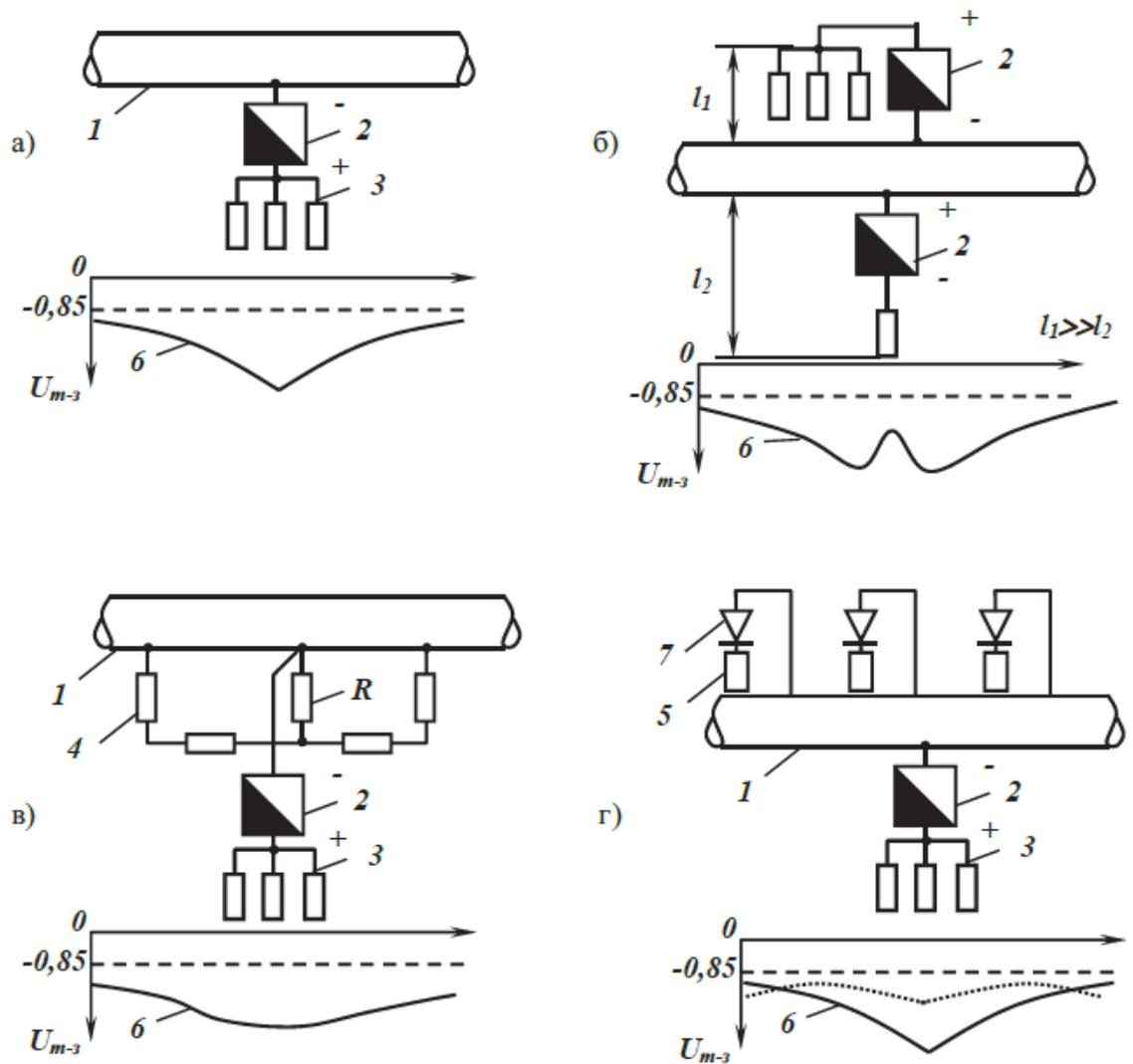


Рис. 4.4. Схемы катодной защиты:  
 а - с удаленными анодами; б - с противопотенциалом;  
 в - с экраным заземлением; г - с катодно-протекторной защитой;  
 1 - трубопровод; 2 - катодная станция; 3 - анодное заземление;  
 4 - экранное заземление; 5 - протекторная установка; 6 -  
 диаграмма распределения потенциалов; 7 - полупроводниковый  
 диод

В первом случае, чтобы обеспечить поляризацию защищаемой конструкции, в систему включается вспомогательный электрод, известный как анодный заземлитель. На поверхности анодного заземлителя происходит анодный процесс, который со временем приводит к его растворению или разрушению. В результате этого анодный заземлитель должен периодически заменяться, что требует затрат на ремонтные работы. Для сокращения расходов, связанных с заменой анодных заземлителей, при их изготовлении используются

материалы, малорастворимые или нерастворимые в условиях анодной поляризации.

При правильном применении этого метода защиты, коррозия металлической конструкции в присутствии электролита может быть полностью прекращена или значительно снижена. Полная защита достигается, когда потенциал металла, подключенного к поляризующей цепи, достигает значения его обратимого потенциала.

Катодная защита с использованием внешнего тока широко применяется для защиты подземных и гидротехнических сооружений. В принципе, катодную защиту можно применять всегда, когда это экономически оправдано и имеются источники электроэнергии или возможность восстановления протекторов. Применимость катодной защиты зависит от характера катодной реакции в процессе коррозии.

Если коррозия происходит с водородной деполяризацией, то для достижения полной защиты металла требуется защитный ток, плотность которого значительно превышает плотность коррозионного тока. Однако в таких условиях использование катодной защиты становится невозможным из-за большого количества выделяющегося водорода и высоких энергетических затрат. Например, для защиты стали с составом 0,3М  $H_2SO_4$  необходима защитная плотность тока около 300 А/м<sup>2</sup>. Если же коррозия происходит с кислородной деполяризацией, например в грунтах, то защитная плотность тока зависит от скорости диффузии кислорода. При этом защитный ток будет увеличиваться только при увеличении степени аэрации. Катодная защита обычно применяется совместно с различными изоляционными покрытиями на наружной поверхности защищаемых сооружений.

Катодная защита обладает следующими преимуществами:

- Высокая эффективность (при правильных параметрах защиты скорость коррозии практически равна нулю).

- Возможность защиты больших металлических поверхностей с поврежденной или отсутствующей изоляцией в средах с разным удельным сопротивлением.
- Регулирование параметров защитного тока в процессе эксплуатации нефтегазопроводов.
- Возможность автоматизации процесса защиты.

К недостаткам метода можно отнести высокую начальную стоимость работ, необходимость систематического контроля и профилактического ремонта, а также возможное негативное воздействие на соседние незащищенные металлические конструкции и высокие эксплуатационные затраты, связанные с потреблением электрической энергии.

Защита от коррозии необходима, когда потенциал коррозии достигает уровня, приводящего к скорости ионизации металла, превышающей технически допустимую и угрожающей долговечности конструкции.

Чаще всего в таких случаях потенциал коррозии  $E_{ст}$  находится в области активного растворения металла  $E^1_{ст}$  или в области нарушения пассивного состояния  $E^{11}_{ст}$  (рис. 4.5). Чтобы снизить скорость растворения металла до приемлемого уровня, необходимо сместить потенциал в активной области до достаточно низкого значения, например, до  $E_{заш}$ , или в пассивную область, например, до  $E^{11}_{заш}$ . Электрохимическая защита позволяет достичь требуемого смещения потенциала.

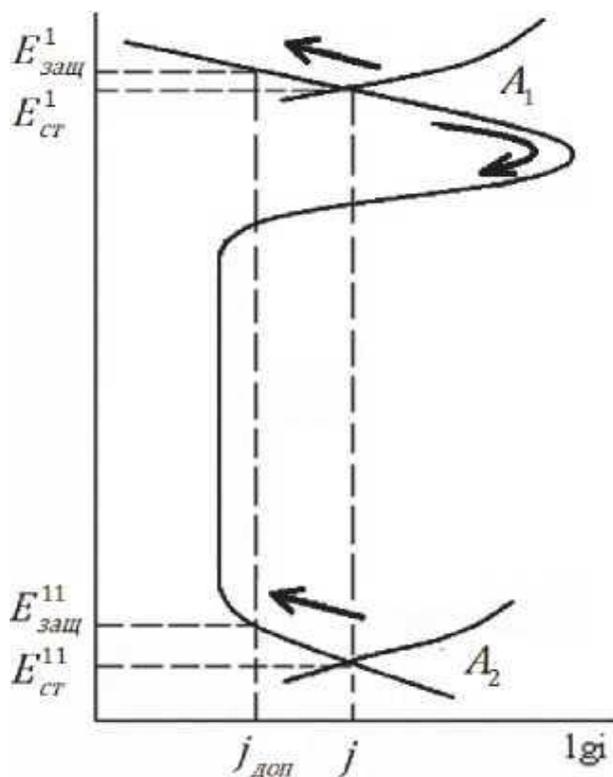


Рис. 4.5. Полная анодная поляризационная кривая

Для изменения потенциала от  $E_{ст}^1$  к  $E_{защ}^1$  или от  $E_{ст}^{11}$  к  $E_{защ}^{11}$  необходимо катодно поляризовать металл. Это можно достичь, например, применяя внешний источник постоянного тока.

Таким образом, подача тока  $I_3$  от вспомогательного электрода на поверхность корродирующего металла приводит к достижению потенциала анода на всей поверхности. В этом случае локальный ток  $I_{л}$  перестает протекать, что приводит к замедлению или полной остановке коррозии (см. рис. 4.6).

Для катодной поляризации подземных газонефтепроводов применяется внешний источник электроэнергии, обычно выпрямитель, который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный ток.

В случае отсутствия электросети используются катодные станции с термоэлектродвигателями или генераторами, приводимыми в действие двигателями внутреннего сгорания, работающими, например, на газе, отбираемом от магистрального трубопровода. В настоящее время также рассматриваются альтернативные источники энергии, такие как топливные

элементы, ветрогенераторы и солнечные батареи. Выбор конкретного устройства определяется технико-экономическим расчетом.

Схема действия катодной защиты показана на рис. 4.7. Защищаемый трубопровод 1 соединяется с отрицательным полюсом внешнего источника постоянного тока 2 (выпрямленного), что приводит к его использованию в качестве катода. Второй электрод 3 (анодное заземление) соединяется с положительным полюсом источника тока, и он действует в качестве анода.

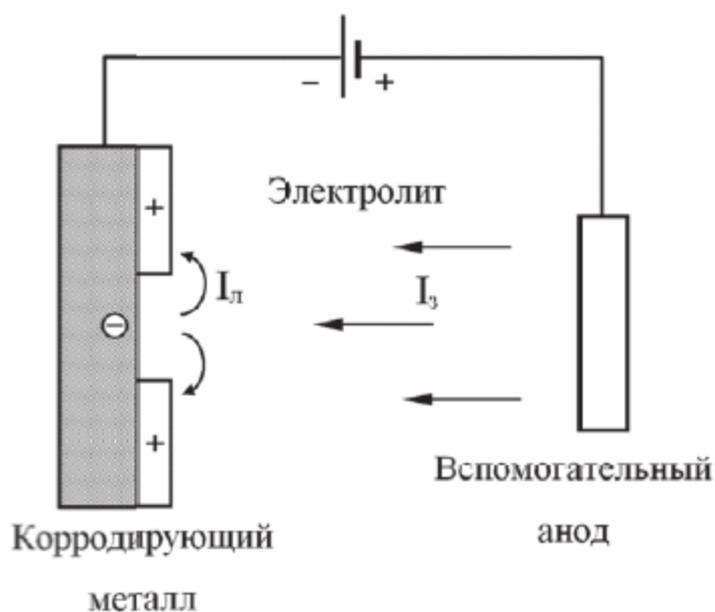
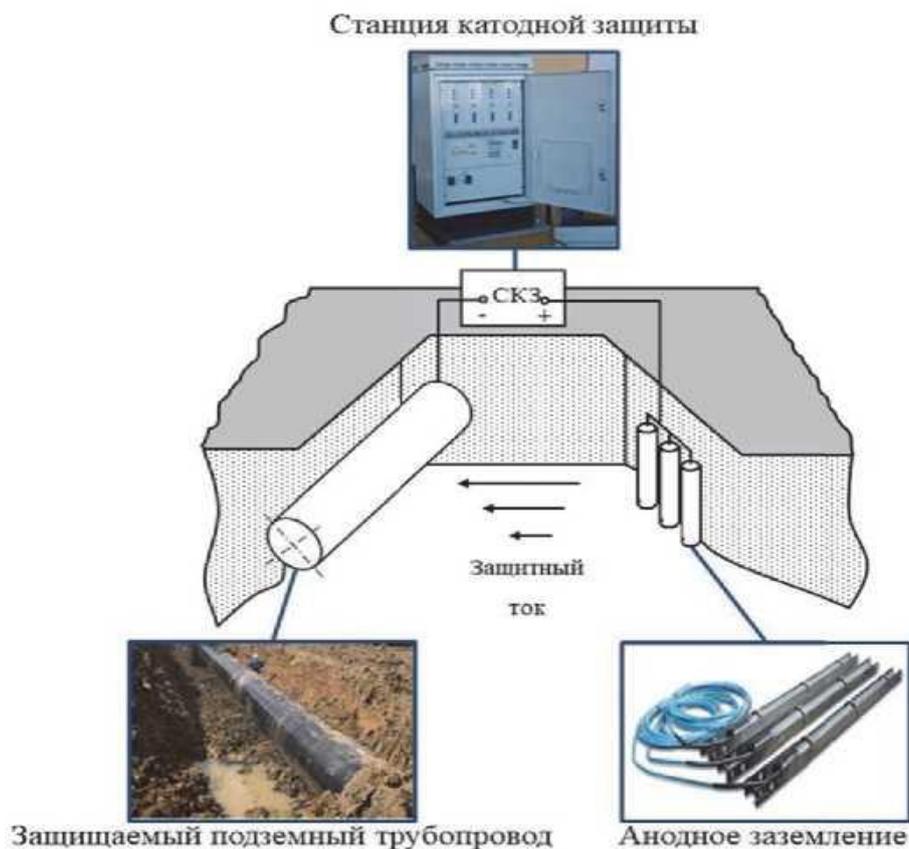


Рис. 4.6. Наложение внешнего тока на ток локального электрохимического элемента



*Рис. 4.7. Принципиальная схема электрохимической защиты подземного трубопровода*

В зависимости от метода реализации катодной поляризации, необходимый защитный потенциал может либо постоянно поддерживаться на заданном уровне (что является предпочтительным методом в настоящее время), либо достигается путем поддержания определенной плотности тока, которая обеспечивает равномерное распределение потенциала по всей конструкции.

В России контролируемым критерием катодной защиты является защитный потенциал (или уровень потенциала) относительно коррозионно-активного грунта, определяемый соответствующими нормативно-техническими документами. За рубежом также часто используется смещение потенциала при катодной поляризации, а в некоторых случаях также учитывается средняя плотность катодного тока.

Смещение потенциала - это разница между приложенным потенциалом на трубопроводе и его собственным (стационарным) потенциалом в данных условиях.

Плотность катодного тока - это отношение силы тока на выходе катодной защитной станции к площади защищаемой поверхности (площади поверхности защищаемого участка трубопровода).

Различные реальные условия коррозионных процессов, зависящих от характеристик металла, химического состава, структуры и состояния поверхности, состава и концентрации электролита, условий диффузии и температуры, приводят к различным зависимостям скорости растворения металла от потенциала для каждой конкретной системы. Поэтому необходимый защитный потенциал определяется прежде всего свойствами самого металла и особенностями его коррозионно-электрохимического поведения в конкретных условиях коррозионного процесса.

Из-за этой специфики существуют ограничения для наиболее отрицательных значений защитного потенциала (максимальный защитный потенциал). Это связано с тем, что смещение потенциала этих металлов в отрицательном направлении, превышающее максимальный защитный потенциал, приводит к нежелательному увеличению скорости разрушения покрытия, образованию трещин и разрушению металла. Такие явления являются результатом эффекта избыточной защиты («перезащиты»).

Опыт эксплуатации трубопроводов показывает, что ограничение области наиболее отрицательных значений защитного потенциала также может быть обусловлено необходимостью предотвращения разрушения изоляционных органических покрытий, особенно в дефектных участках покрытия. Это может происходить при катодной поляризации изолированных металлических конструкций под воздействием выделяющегося газообразного водорода, защелачивания приэлектродного слоя и других факторов.

Таким образом, при катодной защите необходимо поддерживать и контролировать потенциал в определенном диапазоне значений, чтобы обеспечить необходимую защиту металла трубопровода от коррозии.

При определении минимального поляризационного (защитного) потенциала учитываются термодинамические и кинетические соображения.

Стремятся к тому, чтобы этот потенциал не превышал равновесный (обратимый) потенциал для анодной реакции окисления металла. Такой подход предполагает определение абсолютного значения равновесного потенциала для анодной реакции, что приводит к снижению скорости коррозионного процесса до пренебрежительно малого значения.

В 1970-80 годах в системах катодной защиты с использованием постоянного тока от внешнего источника применялось нерегулируемое напряжение, которое обеспечивало относительно постоянный ток защиты. Однако при изменении начальных условий необходимый ток защиты мог существенно изменяться, что могло привести к недостаточной или чрезмерной защите конструкции на протяжении продолжительного времени.

Среди условий, которые могут изменять параметры защиты в процессе эксплуатации подземных трубопроводов, следует упомянуть:

- Изменение сопротивления грунта в результате изменения уровня грунтовых вод, процессов замерзания и оттаивания.
- Пассивация поверхности защищаемого металла.
- Изменение свойств антикоррозионного покрытия.
- Разрушение анодных заземлений, что приводит к увеличению сопротивления растекания анодного заземления.

В таких случаях рекомендуется использовать автоматические катодные станции, которые поддерживают заданный уровень защитного поляризационного потенциала сооружения относительно электрода сравнения. Это требует значительного изменения тока защиты. На рисунке 4.8 приведены некоторые преимущества такого метода защиты, рассмотренные на примере стальных сооружений, на которых происходит катодный процесс с восстановлением растворенного кислорода по реакции :



Диффузия кислорода к поверхности ограничивает ток восстановления до значения  $i_{\text{пр}}$ , как показано на рисунке 1.8. При изменении внешних условий

предельный ток изменяется от  $i_{пр1}$  до  $i_{пр2}$ . Ток, необходимый для поддержания катодной защиты, соответственно увеличивается. Автоматическое поддержание потенциала защиты  $U_{защ}$  обеспечивает скорость коррозии при  $i_{кор}$  и автоматически увеличивает или уменьшает наложенный ток. Если оставить наложенный ток неизменным ( $i_{вн1} = i_{вн2}$ ), то скорость коррозии увеличится до  $i_{кор2}$  и поверхность не будет защищена.

По мере разрушения покрытия большой участок поверхности подвергается воздействию внешней среды. Плотность тока  $i_{вн}$  и защищенность уменьшаются. Система с поддержанием постоянного защитного потенциала поддерживает необходимую плотность тока на нужном уровне. Общий ток катодной защиты увеличивается. Если удельное сопротивление почвы возрастает, то ток будет уменьшаться из-за увеличения падения напряжения  $IR$ . В случае уменьшения удельного сопротивления почвы защитный ток может увеличиться.

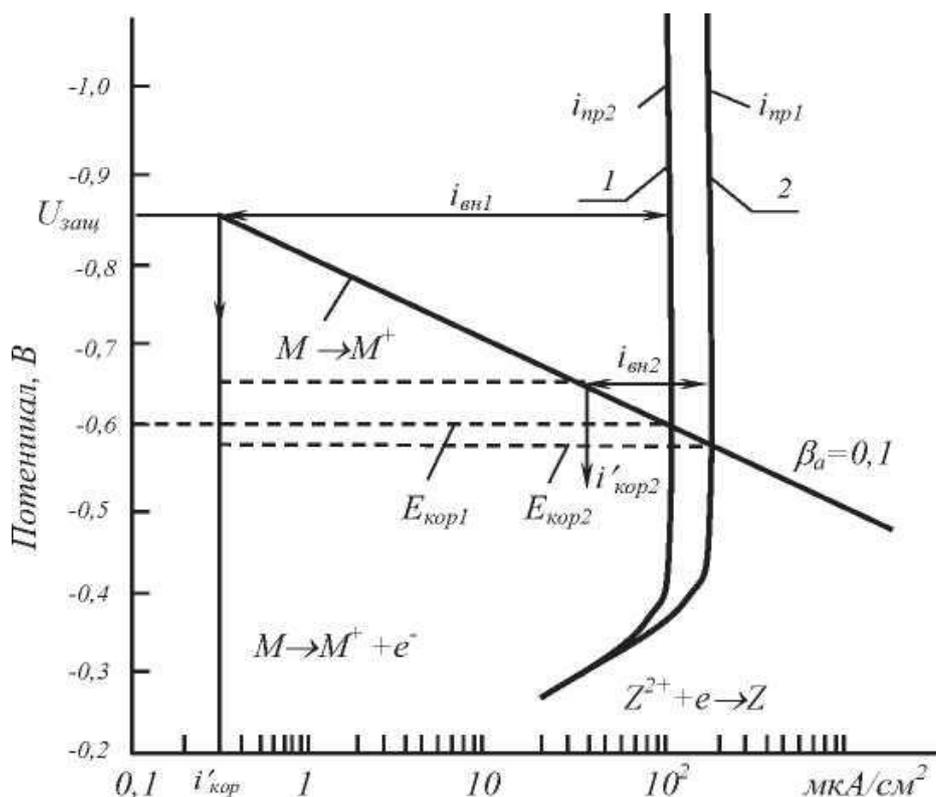


Рис. 4.8. Сравнение катодной защиты с автоматическим

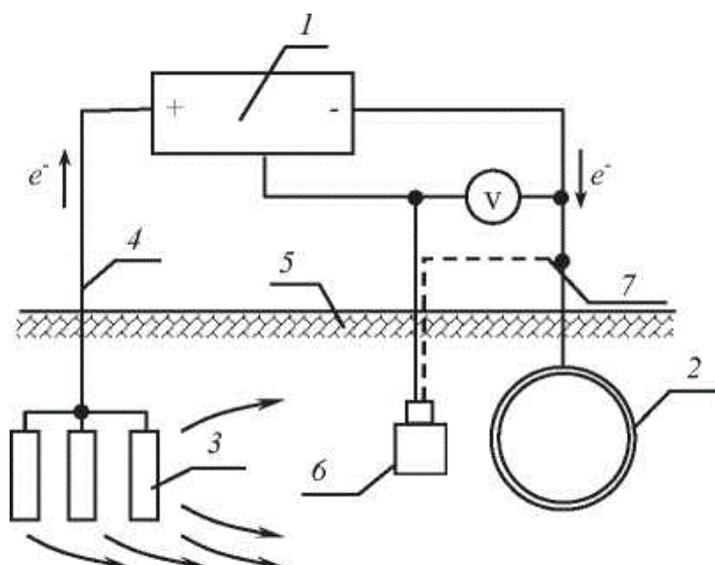
поддержанием защитного потенциала и защиты с неизменяемым током в системе

На рисунке 4.9 показана принципиальная схема автоматической катодной защиты. Отличие этой схемы от схемы на рисунке 1.7 заключается в наличии электрода сравнения 6, который электрически связан с автоматической станцией защиты I.

Необходимо отметить, что катодная защита возможна только тогда, когда защищаемая конструкция и анодное заземление находятся в электронном и электролитическом контакте. Электрический контакт достигается с помощью металлических проводников 4, а электролитический контакт обеспечивается наличием электролитической среды 5 (грунта), в которую погружены защищаемая конструкция и анодное заземление.

В автоматической станции уровень защиты регулируется путем поддержания необходимого защитного потенциала, который измеряется между конструкцией (или датчиком поляризационного потенциала) и электродом сравнения 6. Обычно в качестве электрода сравнения используется медносульфатный электрод сравнения длительного действия, который находится постоянно в электролитической среде (грунте) рядом с трубопроводом.

Потенциал между электродом сравнения и защищаемой конструкцией, измеряемый высокоомным вольтметром, включает в себя поляризационную составляющую и омическое падение напряжения  $IR$ , вызванное протеканием катодного тока  $I$  через эффективное сопротивление  $R$  между электродом сравнения и защищаемой конструкцией. Только поляризация поверхности защищаемой конструкции обуславливает эффект катодной защиты, следовательно, только поляризационный потенциал является одним из важнейших критериев защиты.



*Рис. 4.9. Схема работы автоматической станции катодной защиты:*

- 1 - автоматическая станция катодной защиты; 2 - защищаемый трубопровод;  
 3 - анодные заземления; 4 - анодная линия; 5 - поверхность грунта;  
 6 - электрод сравнения; 7 - проводник для соединения трубопровода с датчиком защитного потенциала

Для точного регулирования поляризационного потенциала защищаемой конструкции относительно электрода сравнения, омическая составляющая должна быть исключена из измеренной разности потенциалов. Для этого применяется электрод сравнения с датчиком защитного потенциала (не показан на рисунке 4.9), который изготовлен из материала, аналогичного материалу трубы. Для поляризации датчика необходимо электрическое соединение между датчиком и трубопроводом, которое обеспечивается электрическим проводником 7, соединяющим датчик с трубопроводом. В этом случае омическая составляющая исключается путем минимизации расстояния между поверхностью металла и капилляром электрода сравнения, так как они располагаются в одном корпусе.

Другие методики измерения поляризационных потенциалов защищаемых катодом конструкций описаны в специальной литературе по средствам и методам электрометрических измерений на подземных трубопроводах.

Сигнал с электрода сравнения 6 подается на станцию катодной защиты I. В зависимости от величины этого сигнала (поляризационного потенциала) электронная схема станции I изменяет величину тока, текущего по линии 4 к группе анодных заземлений 3. Таким образом, станция поддерживает определенный потенциал в зависимости от различных электрохимических условий.

При достижении минимального защитного потенциала неизолированной металлической конструкции с помощью катодной поляризации, требуется высокий уровень тока (см. Таблицу 1.1). Однако в процессе эксплуатации возможно снижение свойств защитного покрытия и возникновение переходного сопротивления в изоляционном покрытии, что приводит к увеличению силы тока, необходимой для достижения эффективной защиты.

Плотность тока (мА/м<sup>2</sup>), необходимая для катодной защиты неизолированной стальной поверхности в различных средах до потенциала -0,85 В по медносульфатному электроду сравнения

*Таблица 1.1*

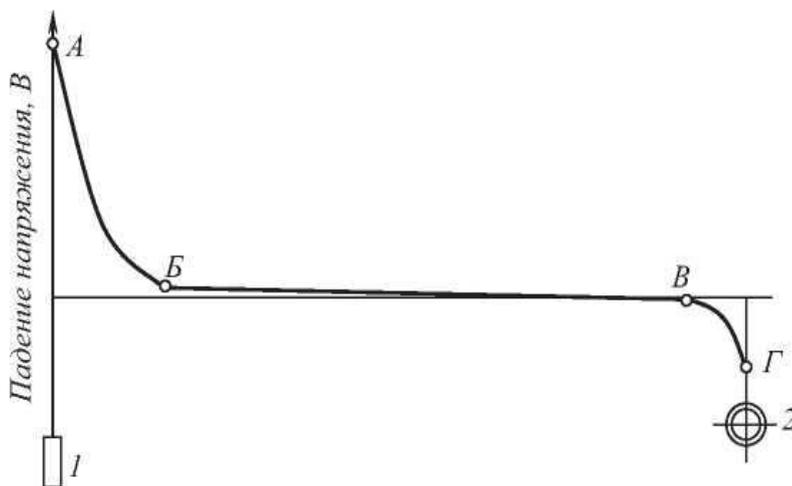
<b>Среда</b>	<b>Плотность</b>
Нейтральная почва	4,3-16,1
Хорошо аэрируемая нейтральная почва	21,5-32,3
Влажная почва	5,4-16,1
Высококислая почва	53,8-161,4
Почва, поддерживающая активность сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ)	451,9

В процессе катодной защиты наблюдается распространение потенциалов в системе "анодное заземление - грунт - защищаемая конструкция". В подземных трубопроводах и других протяженных конструкциях в грунте это распределение имеет свои особенности. Из-за того, что поверхность конструкции (катада) значительно превосходит по размеру анод, за исключением хорошо

изолированных конструкций, градиенты потенциала будут выше в окрестностях анода (см. Рисунок 4.10). Путь тока при катодной защите может быть разделен на три участка:

- 1) Участок  $U_{ДБ}$  обладает большим падением разности потенциалов вокруг заземлителя.
- 2) Участок, где ток протекает через большое поперечное сечение грунта, и падение напряжения  $U_{БВ}$  относительно невелико.
- 3) Участок, где поперечное сечение потока уменьшается, и падение разности потенциалов  $U_{ВГ}$  значительно увеличивается.

Обычно падение напряжения на участке  $U_{АБ}$  составляет примерно 10-15 В, в зависимости от размеров анода и удельного сопротивления грунта. Падение напряжения на участке ВГ составляет около 1-2 В, причем  $U_{ВГ}$  не равно защитному потенциалу  $U_{заш.}$ . Число источников тока, необходимых для катодной поляризации защищаемой конструкции, а также их распределение определяются требованием обеспечить минимальный защитный потенциал во всех точках поверхности защищаемой конструкции при минимальных затратах. Распределение потенциалов в системе "трубопровод - заземлитель" зависит от геометрии поверхности защищаемого сооружения, сопротивления покрытия трубопровода и грунта, геометрии анодного заземления и продольного сопротивления трубы.



**Рис. 4.10.** Распределение разности потенциала между анодным заземлением и трубопроводом:

1 - анодное заземление; 2 – трубопровод

В случае, когда ток стекает с одной точки на трубопроводе и с заземлителя в землю, изменения тока  $\Delta I$  и потенциала  $\Delta E$  на трубе будут наибольшими в точке стекания тока и будут уменьшаться по мере удаления от этой точки. Если трубопровод имеет очень большую длину (приближенно бесконечную), а заземлитель находится на значительном расстоянии от трубы, то изменения потенциала  $I, i, E$  вдоль трубы будут описываться экспоненциальной функцией, например, для плотности тока  $i = e^{kx}$ , где  $k$  - эмпирический коэффициент, зависящий от условий протекания тока (сопротивления растеканию анодных заземлителей, переходного сопротивления изоляции, электрических свойств грунта). Однако, если трубопровод имеет конечную длину, то экспоненциальное соотношение не применимо.

Как уже указано, катодная электрохимическая защита применяется совместно с изоляционными покрытиями, нанесенными на внешнюю поверхность трубопровода. Эти покрытия значительно снижают требуемый ток защиты. Например, для стального трубопровода с хорошим покрытием в почве требуется всего 0,01-0,2 мА/м<sup>2</sup> (сравнимо с данными из таблицы 1.1). Однако, с разрушением покрытия и обнажением металла, необходимо увеличивать катодный ток для обеспечения защиты конструкции. Качество внешнего покрытия на поверхности трубопровода определяет площадь обнаженного металла, контактирующего с электролитом, и ток, который протекает через покрытие. Ток, необходимый для катодной защиты подземных металлических трубопроводов, в основном зависит от качества покрытия, в то время как остальные факторы имеют меньшее значение.

Например, трубопровод с хорошим покрытием длиной 200 км может быть защищен током нескольких ампер, тогда как неизолированный трубопровод такой же длины может требовать тока около 1000 А для катодной защиты. Защитный катодный ток  $i_k$  пропорционален количеству редуцируемых веществ  $Z^{2+}$  в электролите. В кислых растворах присутствуют высокие концентрации ионов водорода  $H^+$ , поэтому требуются очень большие токи защиты. В

нейтральных и щелочных почвах процесс сопровождается кислородной деполяризацией, что приводит к увеличению концентрации ионов гидроксида  $\text{OH}^-$  и усиливает эффект. Если перенос и диффузия ограничены, этот эффект возрастает еще быстрее. Таким образом, катодная защита связана с процессом подщелачивания защищаемой металлической поверхности.

Если рассматривать амфотерные металлы, такие как алюминий и свинец, то повышение  $\text{pH}$  в электролите может привести к катодной коррозии. Поэтому при катодной защите этих металлов важно контролировать, чтобы потенциал не превышал максимально допустимое значение защитного потенциала. Аналогично, избыточная щелочность может вызвать обмывание покрытия и уменьшение эффективности катодной защиты.

В случае стальных конструкций, повышение  $\text{pH}$  может быть выгодным, так как эффективность катодной защиты увеличивается с ростом  $\text{pH}$  в электролите. Однако, для высокопрочных сталей возможно их наводороживание, что приводит к возникновению водородной хрупкости на наиболее напряженных участках, таких как сварные швы и другие.

Повышение  $\text{pH}$  в электролитах, содержащих растворенные бикарбонат кальция и сульфат магния, приводит к осаждению этих солей на поверхности защищаемого металла. Если эти осадки образуют плотные слои, то это позволяет существенно снизить необходимый защитный ток и тем самым сэкономить затраты на катодную защиту.

Для трубопроводов большой протяженности недостаточно использовать только одну катодную установку. В таких случаях применяют несколько установок, учитывая их взаимное влияние. Это позволяет увеличить защитную зону от каждой установки и обеспечить защиту всего трубопровода.

#### **2.4. Критерии электрохимической защиты**

Таким образом, мы установили, что электрохимическая защита достигается, когда поляризационный потенциал (исключая омическое падение напряжения) удовлетворяет определенным критериям. Для подземных

сооружений из черных металлов потенциал, измеряемый по медносульфатному электроду сравнения, должен быть более отрицательным, чем  $-0,85$  В. Этот критерий был установлен Робертом Дж. Куном в 1928 году и подтвержден многочисленными последующими исследованиями, демонстрирующими, что при таком защитном потенциале скорость коррозии пренебрежимо мала (менее  $0,1$  мм в год для сталей и наиболее распространенных коррозионных сред).

Этот критерий широко принят во многих национальных и региональных стандартах и рекомендациях по катодной защите подземных стальных сооружений, включая ГОСТ 9.015-74, NACE, Standards RP-01-69, British Standards institution CP 1021: 1973, рекомендации СЭВ и другие

Согласно ГОСТ Р 51164-98, все стальные трубопроводы, за исключением надземных, подлежат электрохимической защите независимо от условий эксплуатации. Электрохимическая защита должна обеспечивать непрерывную катодную поляризацию трубопровода на всем его протяжении и поверхности на протяжении всего срока эксплуатации. При этом значения потенциалов на трубопроводе должны быть не меньше минимального и не больше максимального значений. Таблицы 1.2 приводят значения минимальных и максимальных защитных потенциалов в зависимости от условий прокладки и эксплуатации трубопровода.

*Таблица 1.2 Значение минимального защитного потенциала*

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Минимальный защитный потенциал относительно	
	Поляризационный (без омической)	С омической
Грунты с удельным электрическим сопротивлением не менее $10$	$-0,85$	$-0,90$
При других условиях прокладки трубопроводов:		
- с битумной изоляцией	$-1,15$	$-2,50$

- с полимерной изоляцией	-1,15	-3,50
Грунты с удельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом·м, или с опасным влиянием блуждающих токов промышленной	-0,95	-1,05
При прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С) в грунтах с удельным электрическим сопротивлением менее 10	-1,10	-1,50

В некоторых случаях на практике не всегда возможно использовать метод отключения и аналогичные методы. Например, использование данного метода затруднено при наличии блуждающих токов, воздействии гальванических токов от неизолированных элементов установки, а также при защите участка трубопроводов, находящегося в зоне высоковольтных линий. В этих ситуациях могут быть применены другие критерии, которые описаны в таблице 1.3 для нелегированных сталей.

Таблица 1.3 Критерии полноты электрохимической защиты

Сокра	Пояснение	Область
$U \leq -0,85 \text{ В}$	Измерение проводится при включенном защитном токе относительно МЭС, с учетом омического падения напряжения	Трубопроводы с антикоррозионным покрытием, в т. ч.
$\Delta U \geq 300 \text{ мВ}$	Смещение в сторону отрицательных значений на 300 мВ по отношению к стационарному потенциалу при	Трубопроводы без посторонних контактов.
$\Delta U \geq 100 \text{ мВ}$	Измерение снижения потенциала после отключения	Применим для Трубопроводы без покрытия и с
$U = f(\lg I)$	Защитный ток следует определять по точке излома прямой Тафеля путем пробного	Зонды, обсадные трубы
$\Delta U < 0$ (по направлению к отрицательным)	Падения напряжения, измеряемые перпендикулярно к трубопроводу, должны быть	Трубопроводы без покрытия
$U_m < -0,85 \text{ В}$	Измерительный образец, соединенный с трубопроводом и имеющий близкий расположенный электрод сравнения, для проведения измерений электрически	Когда невозможно измерение потенциала выключения трубопровода
$U \leq -0,956 \text{ В}$	Измерение проводится при включенном защитном токе относительно МЭС, с учетом	При наличии в грунте сульфатвосстанавливающи

Критерий 1 соответствует применению действующих нормативных технических документов, таких как ГОСТ Р 51164-98 при защите магистральных трубопроводов. Для этого критерия установлено значение потенциала  $-0,85$  В относительно медно-сульфатного электрода или  $-0,53$  В относительно стандартного водородного электрода.

Этот критерий был определен экспериментально и также имеет теоретическое подтверждение. В частности, потенциал для железа может быть рассчитан теоретически на основе предположения, что при равновесии активности ионов  $Fe^{2+}$  определяется растворением покровного слоя  $Fe(OH)_2$ . Расчет проводится в соответствии с уравнением Нернста:

$$E_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44 + \frac{0,059}{2} \lg \alpha_{Fe^{2+}}, \text{ где}$$

$$\alpha_{Fe^{2+}} = \frac{PP}{\alpha_{OH^-}}$$

Для оценки концентрации  $OH^-$  можно использовать реакцию  $Fe(OH)_2 \rightarrow Fe^{2+} + 2(OH^-)$ , при которой концентрация  $OH^-$  в два раза превышает концентрацию ионов  $Fe^{2+}$ . Для железа  $PP$ -произведение растворимости составляет  $1,8 \cdot 10^{-15}$ . Рассчитанный таким образом потенциал составляет  $-0,59$  В или  $-0,91$  В относительно насыщенного медносульфатного электрода (МЭС), что соответствует эмпирическим данным.

Еще одно доказательство справедливости указанного критерия может быть найдено из зависимости минимального защитного потенциала для стали относительно МЭС:

$$U_{zmin} = 0,09 - 0,058 pH - b \lg \frac{i_n^{кр}}{i_3}$$

где  $i_n^{кр}$  – критический ток пассивирования;

$i_3$  - плотность тока при задаваемой скорости коррозии;

$b$  - тафелевский коэффициент.

Для расчета величины  $U_{zmin}$  по приведенной зависимости необходимо экспериментально определить  $i_n^{kp}$  в буферном растворе, близком по составу к почвенному электролиту при значении рН, равном рН приэлектродного слоя, и задаться допустимой скоростью коррозии  $V_{кор}$ . Принимая экспериментально установленные значение коэффициента  $b = 0,070$ ; для области рН > 6.5 значение рН приэлектродного слоя, равное рН = 10,5, и соответствующую этому значению рН критическую плотность тока пассивирования  $i_n^{kp} = 10$  мкА/см<sup>2</sup> для критерия защищенности  $i_3 = 2,5$  мкА/см<sup>2</sup>, получаем  $U_{zmin} = -0,85$  В.

Хотя выбранный потенциал -0,85 В не является абсолютным потенциалом, который всегда обеспечивает полную защиту сооружения, массовая и долговечная практика его использования для защиты стальных сооружений в различных подземных и морских условиях подтверждает его полную практическую приемлемость. Критерии 2-5 называются прагматическими критериями защиты НАСЕ.

Критерий 2 объясняется тем, что свободный потенциал коррозии в грунте по медносульфатному электроду обычно составляет  $Н_{Si}/SiSO_4 = -0,55$  В, причем омическое падение напряжения и защита благодаря имеющемуся покрытию не учитываются. Для снижения скорости коррозии до максимально допустимой величины 0,1 мм в год в грунте необходимо наложить потенциал -0,14 В, что также компенсирует омическое падение напряжения. У поверхностей с защитными покрытиями коррозия при стационарном потенциале  $U_{ст}$  зависит от потенциала в противоположном направлении, что подтверждает правильность вывода.

Критерий 3: Под измеренным стационарным потенциалом  $U_{ст}$  понимается потенциал, полученный после прекращения защитного тока и снижения поляризации. Разница в потенциалах соответствует изменению потенциала без учета омического падения напряжения.

Критерий 4: Кривая Тафеля при логарифмическом масштабировании имеет заметное отклонение на участке перехода от предельного диффузионного тока кислорода к выделению водорода. Это свидетельствует о том, что защитный

ток больше предельного диффузионного тока кислорода и, следовательно, обеспечивается катодная защита.

Критерий 5: Показывает, что катодный ток протекает по трубопроводу, и на поверхности трубы отсутствуют коррозионные элементы.

Критерий 6: Использование внешних измерительных образцов дает лучшие результаты. Они позволяют точно смоделировать дефект изоляции трубопровода и определить защитный потенциал металла в этом дефекте.

Критерий 7: Устанавливает потенциал относительно МЭС, который отличается от потенциала, указанного в критерии 1 и равен  $-0,956$  В. Это объясняется тем, что при таком потенциале сталь в грунте с содержанием сульфатовосстанавливающих бактерий не растворяется.

В работе В. В. Полашова было отмечено, что критерии 1, 6 и 7 не обоснованы и не устанавливают привязки к стационарному потенциалу трубопровода. Однако они все же широко используются, так как для их определения не требуется проведение процедур, связанных с деполяризацией трубопровода и другими электрометрическими измерениями. Некоторые исследователи считают, что более надежными являются критерии, которые учитывают собственный потенциал трубопровода, а именно критерии 2 и 3.

Кроме того, существуют и другие критерии, которые могут быть применены для катодной защиты. Например, при повышенных температурах образующиеся на катоде щелочные среды могут стимулировать коррозионное растрескивание под напряжением, а при наличии конструктивных элементов с надрезами (концентрацией напряжений) и низкой частотой нагружения выделяющийся на катоде водород может способствовать коррозионному растрескиванию при циклическом нагружении.

Кроме того, в некоторых случаях, при слишком высоких температурах и (или) при слишком высокой концентрации агрессивных веществ, скорость коррозии в пассивном состоянии может превысить некоторое приемлемое предельное значение, что делает анодную защиту от коррозии неприменимой в принципе.

В случае коррозионного растрескивания, которое происходит под напряжением в слабокислых средах, вызванным выделением водорода, обычно электрохимическая защита неэффективна. Кривые "срок службы - потенциал" для углеродистой стали в среде, содержащей сероводород, представлены на рис. 4.11 для пояснения этого. Хотя при  $\text{pH} = 4$  стойкость при катодной поляризации существенно повышается (в некотором узком диапазоне потенциалов из-за образования поверхностного слоя  $\text{FeS}$ ), этот эффект нельзя использовать для длительной защиты.

Результаты измерений также показывают, что со снижением потенциала стойкость (измеряемая по времени до разрушения) уменьшается. Хотя теоретически возможна анодная защита от коррозионного растрескивания, вызываемого водородом, она неэффективна, так как в этом случае усиливается равномерная поверхностная коррозия.

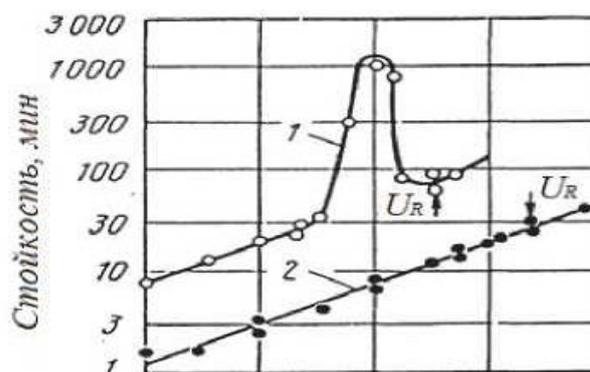


Рис. 4.11. Зависимость стойкости образца из углеродистой в насыщенной сероводородом воде при  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  от потенциала:

1 - при  $\text{pH} = 4$ ; 2 - при  $\text{pH} = 1,3$  (вода содержит соляную кислоту);  $U_R$  - стационарный потенциал

В углеродистых и низколегированных сталях обычно коррозионное растрескивание под напряжением, вызванное водородом, протекает только при наличии стимуляторов, которые препятствуют рекомбинации выделенных на катоде атомов водорода в молекулы  $\text{H}_2$ . В результате, количество водорода в структуре материала может повышаться (диффундировать), что может привести к коррозии (см. рис. 1.12). Примерами таких стимуляторов могут быть гидриды элементов из группы 5 и 6 Периодической системы, наподобие  $\text{PH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ .

Однако у высокопрочных сталей с временным сопротивлением более 1800 МПа этот вид коррозионного растрескивания может происходить даже при отсутствии стимуляторов. Это происходит в средах с хлористым натрием, где срок службы материала сокращается под влиянием и анодной, и катодной поляризации.

При использовании катодной защиты для стали в грунте происходит обеднение поверхности стали кислородом, что создает анаэробные условия для биологического восстановления сульфатов и возможные предпосылки для коррозионного растрескивания под напряжением при воздействии водорода. В таком случае, система модифицируется из группы I в группу II. Это не является угрозой для обычных трубных сталей с пределом текучести  $\sigma_T = 700$  МПа, так как одновременно происходит повышение pH в результате катодных реакций. Наоборот, есть риск коррозии на наклепанных участках и в слабокислых средах. Желательно избежать наклепанных участков, но если они необходимы, вероятность коррозионного повреждения невелика, т.к. на том же месте повреждается изоляционное покрытие трубы.

Ожидается, что на поверхности стали с низким уровнем pH возникнут проблемы коррозии не в почве, а в минеральных водах, содержащих сероводород. Обычно, электрохимическая защита от коррозии сочетается с использованием покрытий. Повреждения изоляционной ленты на покрытиях могут привести к снижению эффективности защиты на открытой поверхности стали. Это может привести к нарушению эффекта пассивации при анодной защите. Однако, при катодной защите, защитное действие не снижается так сильно или вовсе не теряется, что может вызывать проблемы, такие как подрыв покрытия коррозией и образование пузырьков.

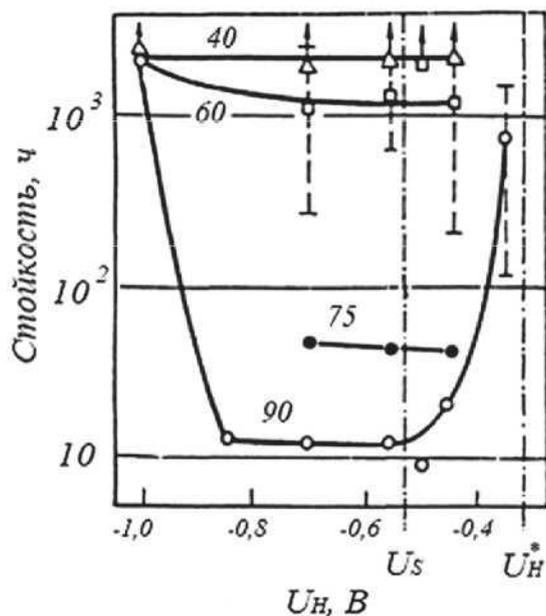


Рис. 4.12. Зависимость стойкости трубной стали X70 в буферном растворе при  $pH = 5,5$  и концентрации сульфид-ионов  $150 \text{ мг/л}$  при различных нагрузках (цифры у кривых - доля от условного предела текучести, %) и температуре  $15^\circ\text{C}$  от потенциала:  $U_s$ - потенциал катодной защиты ( $-0,53 \text{ В}$ );  $U_n$  - равновесный потенциал водорода при давлении  $0,1 \text{ МПа}$  ( $-0,32 \text{ В}$ )

### 3. Расчётная часть

#### 3.1 Методы анализа

Будет проведен расчет и анализ электрических характеристик трубопровода и грунта, параметров анодного заземления (АЗ) и катодной защиты на основе материалов магистрального нефтепровода, а также будет проведена оценка состояния коррозии трубы и прогнозирование ее дальнейшего развития.

#### 3.2 Расчет параметров установок катодной защиты

Для определения электрических характеристик электрохимической защиты, применяется методика, описанная в СТО Газпром 9.2-003-2009 [11]. Согласно этому стандарту можно определить количество и электрические параметры УКЗ, количество анодных заземлителей, их тип и место установки.

Для определения модели УКЗ производится расчет его характеристик, включая количество используемых УКЗ, силу тока на трубопроводе, уровень защитного потенциала, длину защищаемой зоны и мощность. После учета всех этих параметров можно определить наиболее подходящую модель УКЗ. Для расчета параметров катодной защиты нефтепровода с анодным заземлением необходимо иметь следующие исходные данные:

Внешний диаметр трубы  $D_n = 0,74$  м;

Толщина стенки трубы  $\delta_n = 9,1 \cdot 10^{-3}$  м;

Длина трубопровода  $L_{\text{общ}} = 110$  км; Марка стали трубопровода – 09Г2СФ;

Удельное сопротивление грунта  $\rho_{\text{гр}} = 48$  Ом · м;

Удаление анодного заземления от трубопровода,  $y = 100$  м.

Начальное переходное сопротивление трубопровод-грунт,  $R_{\text{п.н.}} = 11000$  Ом · м<sup>2</sup>;

Будет осуществлено прокладывание нефтепровода в местности, где грунт имеет разные значения электрического сопротивления на разных участках.

Таблица 2.1 – Значения удельного электросопротивления грунта по участкам:

$L_i/L_{об}$	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1
$\rho_{гр}$ , Ом · м	160	80	60	30	20

Выбирается оборудование для антикоррозионной защиты, учитывая электросопротивление грунта. Это представлено вертикальными анодами АЗМ-3Х, изготовленными из железокремниевое сплава, заложенных в коксовую засыпку. Для дренажной линии рекомендуется использовать алюминиевый провод.

Решение:

По данным таблицы 2.1 вычислим среднее значение удельного электросопротивления грунта:

n

$$\rho_{ср.гр} = \sum_{i=1} \rho_{Гр} \cdot l_i = 160 \cdot 0,1 + 80 \cdot 0,3 + 0,4 \cdot 60 + 0,1 \cdot 30 + 0,1 \cdot 20$$

i=1

$$= 69 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

(3.1)

где  $\rho_{гр}$  – удельные электросопротивления грунтов на различных участках, Ом · м;

$l_i$  - протяженность участков;

Переходное сопротивление трубопровод-грунт к концу нормативного срока эксплуатации установок катодной защиты:

$$R_{п.к.} = R_{п.н.} \cdot \exp(-\beta \cdot t_{н.с.}) \quad (3.2)$$

где  $t_{н.с.}$  – нормативный срок эксплуатации устройств катодной защиты,

$$t_{н.с.} = \frac{100}{s_1} \quad (3.3)$$

где  $s_1$  – норма амортизационных отчислений, идущая на полное восстановление основных фондов, принимается равной 10,5 %/год.

Нормативный срок эксплуатации устройств катодной защиты:

$$t_{н.с.} = \frac{100}{10,5} = 9,5 \text{ лет}$$

По формуле (3.3) вычисляем переходное сопротивление трубопровод-грунт к концу нормативного срока эксплуатации установок катодной защиты:

$$R_{п.к.} = 11000 \cdot \exp(-0,125 \cdot 9,5) = 3354,81 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$$

Среднее значение переходного сопротивления трубопровод-грунт находим по формуле:

$$R_{п.ср.} = \frac{R_{п.н.}}{\beta \times t_{н.с.}} \times [1 - \exp(-\beta \times t_{н.с.})] = \frac{11000}{0,125 \times 9,5} \times [1 - \exp(-0,125 \times 9,5)] = 6438 \text{ Ом} \times \text{м}^2 \quad (3.4)$$

Сопротивление трубопроводной изоляции на единицу длины к концу нормативного срока эксплуатации устройств катодной защиты:

$$R_{из.к.} = \frac{R_{п.к.}}{\pi \cdot D_H} = \frac{3354,81}{3,14 \cdot 0,74} = 1443,8 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (3.5)$$

Среднее сопротивление трубопроводной изоляции на единицу длины:

$$R_{из.ср.} = \frac{R_{п.ср.}}{\pi \cdot D_H} = \frac{6438}{3,14 \cdot 0,74} = 2770,7 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (3.6)$$

Продольное сопротивление единицы длины трубопровода:

$$R_T = \frac{\rho_{ст} \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot (D_H - \delta_H) \cdot \delta_H}, \quad (3.7)$$

где  $\rho_{ст}$  – удельное электрическое сопротивление трубной стали.

Таблица 2.2 – Удельное электрическое сопротивление различных трубопроводных сталей

Марка трубной стали	17ГС	17Г2СФ	09Г2СФ	Ст3
$\rho_{ст}$ , Ом · мм <sup>2</sup> /м	0,247	0,245	0,243	0,218

По формуле (3.7) вычисляем продольное сопротивление на единицу длины трубопровода:

$$R_T = \frac{0,243 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot (0,74 - 9,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 9,1 \cdot 10^{-3}} = 11,64 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м}$$

Входное сопротивление трубопровода, среднее за нормативный срок эксплуатации катодной установки:

$$R_{вх.ср.} = \sqrt{\frac{R_T \cdot R_{из.ср.}}{2}} = \sqrt{\frac{11,64 \cdot 10^{-6} \cdot 2770,7}{2}} = 0,127 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

Входное сопротивление трубопровода, к концу нормативного срока эксплуатации катодной установки:

$$R_{вх.к.} = \sqrt{\frac{R_T \cdot R_{из.к.}}{2}} = \sqrt{\frac{11,64 \cdot 10^{-6} \cdot 1443,8}{2}} = 0,092 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

Постоянная распределения потенциалов и токов вдоль трубопровода к концу нормативного срока эксплуатации катодных установок:

$$\alpha = \sqrt{\frac{R_T}{R_{из.к.}}} = \sqrt{\frac{11,64 \cdot 10^{-6}}{1443,8}} = 0,897 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}} \quad (3.10)$$

Максимальный  $E_{\max}$  и минимальный  $E_{\min}$  наложенные защитные потенциалы:

$$E_{\max} = E_{\max p} - E_{\text{ест}} \quad (3.11)$$

$$E_{\min} = E_{\min p} - E_{\text{ест}} \quad (3.12)$$

где  $E_{\max p}$  – максимальный расчетный защитный потенциал, равный минус 1,1 В;

$E_{\min p}$  – минимальный расчетный защитный потенциал, равный минус 0,85 В;

$E_{\text{ест}}$  – естественный потенциал трубопровода по отношению к медносульфатному электроду сравнения (МЭС), равный минус 0,55 В.

По формулам (3.11) и (3.12) вычисляем:

$$E_{\max} = -1,1 + 0,55 = -0,55 \text{ В}$$

$$E_{\min} = -0,85 + 0,55 = -0,30 \text{ В}$$

Задавшись удалением анодного заземления  $u$  от магистрального трубопровода, определяем:

а) коэффициент, учитывающий влияние смежной станции катодной защиты (СКЗ):

$$k_{\text{в}} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{E_{\min}}{E_{\max}}\right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{вх.к.}} \cdot u + \rho_{\text{ср.гр}}}{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{вх.к.}} \cdot u}}} \quad (3.13)$$

По формуле (13) вычисляем:

$$k_{\text{в}} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{0,3}{0,55}\right)^2 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,092 \cdot 100 + 69}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,092 \cdot 100}}} = 0,63$$

б) протяженность защищаемой зоны трубопровода одной СКЗ к концу нормативного срока эксплуатации:

$$L_3 = \frac{2}{\alpha} \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{вх.к.}} \cdot y}{k_{\text{в}} \cdot \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{max}}} \cdot (2 \cdot \pi \cdot R_{\text{вх.к.}} \cdot y + \rho_{\text{ср.гр}})} \right] \quad (3.14)$$

По формуле (3.14) вычисляем:

$$L_3 = \frac{2}{0,897 \cdot 10^{-4}} \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,092 \cdot 100}{0,62 \cdot \frac{0,3}{0,55} \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 0,092 \cdot 100 + 69)} \right] = 6651,5 \text{ м}$$

в) средняя сила тока в цепи катодной станции при  $R_{\text{вх}} = R_{\text{вх.ср}}$ .

$$I_{\text{ср}} = \frac{E_{\text{max}}}{R_{\text{вх.ср.}} + \frac{\rho_{\text{ср.гр}}}{2 \cdot \pi \cdot y}} = \frac{0,55}{0,127 + \frac{69}{2 \cdot 3,14 \cdot 100}} = 2,32 \text{ А} \quad (3.15)$$

Сила тока в конце расчетного периода при  $R_{\text{вх.}} = R_{\text{вх.ср}}$

$$I_{\text{к}} = \frac{E_{\text{max}}}{R_{\text{вх.к.}} + \frac{\rho_{\text{ср.гр}}}{2 \cdot \pi \cdot y}} = \frac{0,55}{0,092 + \frac{69}{2 \cdot 3,14 \cdot 100}} = 2,72 \text{ А} \quad (3.16)$$

г) сопротивление растеканию тока с одиночного вертикального анода

$$R_{\text{а}} = \frac{\rho_{\text{гр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{а}}} \cdot \ln \frac{4 \cdot l_{\text{а}}}{d_{\text{а}}}, \quad (3.17)$$

где  $\rho_{\text{гр}}$  – удельное сопротивление грунта;

$l_{\text{а}}$  – длина анода;

$d_{\text{а}}$  – диаметр анода.

По формуле (3.17) вычисляем:

$$R_{\text{а}} = \frac{48}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,44} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,44}{0,13} = 20,12 \text{ Ом}$$

е) оптимальное число анодов в конструкции анодного заземления

$$n = I_{\text{к}} \cdot \sqrt{\frac{51 \cdot R_{\text{а}} \cdot \omega_{\text{э}}}{\omega_{\text{а}} \cdot \eta_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{и}}}}, \quad (3.18)$$

где  $\omega_{\text{э}}$  – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, руб/(кВт · ч), принимаем равным 40 руб/(кВт · ч);

$\omega_{\text{а}}$  – стоимость одного анода с установкой, руб;

$\eta_{\text{с}}$  – коэффициент полезного действия станции, принимаем равным 0,6;

$\eta_{\text{э}}$  – коэффициент экранирования, принимаем 0,7;

$\eta_{\text{и}}$  – коэффициент использования анода, принимаем равным 0,85. По формуле (3.18) вычисляем:

$$n = 2,72 \cdot \sqrt{\frac{51 \cdot 20,12 \cdot 40}{50000 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,85}} = 4,12$$

Принимаем  $n = 4$ .

ж) сопротивление растеканию тока с АЗ:

$$R_{\text{а.з.}} = \frac{R_{\text{а}}}{n \cdot \eta_{\text{э}}} = \frac{20,12}{4 \cdot 0,7} = 7,18 \text{ Ом} \quad (3.19)$$

з) оптимальная плотность тока в дренажной линии:

$$j_{\text{опт}} = 31,6 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \omega_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{с}}}{\omega_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot \tau}} \quad (3.20)$$

где  $\varepsilon$  – норма амортизационных отчислений;

$\omega_{\text{л}}$  – стоимость прокладки дренажной линии, руб/(м · мм<sup>2</sup>);

$\rho_{\text{пр}}$  – удельное сопротивление алюминиевого провода, равно 0,029 Ом · мм<sup>2</sup>/м;

$\tau$  – время работы станции в году, час, принимаемое равным 8760 час. По формуле (3.20) вычисляем:

$$j_{\text{опт}} = 31,6 \cdot \sqrt{\frac{0,268 \cdot 20 \cdot 0,6}{40 \cdot 0,029 \cdot 8760}} = 0,562 \text{ А/мм}^2$$

и) оптимальное сечение дренажного провода:

$$S_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{ср}}}{j_{\text{опт}}} = \frac{2,32}{0,562} = 4,13 \text{ мм}^2 \quad (3.21)$$

к) сопротивление дренажного провода:

$$R_{\text{пр}} = \rho_{\text{пр}} \cdot \frac{l_{\text{пр}}}{S_{\text{пр}}}, \quad (3.22)$$

где  $l_{\text{пр}}$  – длина провода, принимается равной удалению анодного заземления у от магистрального трубопровода.

Учитывая увеличение  $S_{\text{пр}}$  с удалением АЗ от трубопровода у, принимаем с запасом сечение дренажного провода  $S_{\text{пр}} = 10 \text{ мм}^2$  (алюминиевый провод А 1'10).

По формуле (3.22) вычисляем:

$$R_{\text{пр}} = 0,029 \cdot \frac{100}{10} = 0,29 \text{ Ом}$$

л) среднее значение напряжения на выходных контактах СКЗ:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta E_{\text{а}} + \Delta E_{\text{пр}} + \Delta E_{\text{к}} = I_{\text{ср}} \cdot R_{\text{а.з.}} + I_{\text{ср}} \cdot R_{\text{пр}} + |E_{\text{max}} - E_{\text{min}}| \\ &= 2,32 \cdot 7,18 + 2,32 \cdot 0,29 + |-0,55 + 0,3| = 17,6 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.23)$$

м) среднее значение потребляемой мощности СКЗ:

$$P = I_{\text{ср}} \cdot \Delta E = 2,32 \cdot 17,6 = 40,83 \text{ Вт} \quad (3.24)$$

Исходя из значения мощности, развиваемой СКЗ и напряжению на выходе выбираем катодную станцию типа НГК–ИПКЗ(М)–0,6(48)–У1 – 1кВт.

Срок службы анодного заземления:

$$T = \frac{n \cdot M_{\text{а}} \cdot \eta_{\text{н}}}{q_{\text{а}} \cdot I_{\text{ср}}}, \quad (3.25)$$

где  $M_{\text{а}}$  – масса одного анодного заземлителя;

$q_{\text{а}}$  – скорость растворения материала электродов анодного заземления  $q_{\text{а}} = 0,3 \text{ кг}/(\text{А} \cdot \text{год})$ .

По формуле (3.25) вычисляем:

$$T = \frac{4 \cdot 28 \cdot 0,85}{0,3 \cdot 2,32} = 136 \text{ лет}$$

Рассчитаем общее число станций катодной защиты:

$$N = \frac{L}{L_3} = \frac{110000}{6651,5} = 16,54 \quad (3.26)$$

Принимаем  $N = 17$ .

Сделав выводы, можем сказать, что методика позволила сделать расчет ПКЗ на примере катодной защиты, а именно, вычислить основные параметры УКЗ: средняя сила тока равна 2,32 А, длина защищаемой зоны равна 6651,5 м, число анодов равно 4, напряжение на выходе СКЗ равно 17,6 В, срок службы АЗ равно 136 лет, мощность СКЗ равна 40,83 Вт, число СКЗ равно 17. По вычисленным параметрам выбрали катодную станцию марки НГК– ИПКЗ(М)– 0,6(48)– У1, с номинальной мощностью, равной 0,6 кВт, с номинальным суммарным током равным 12,5 А при выходном напряжении равным 48 В.

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Благодаря правильному выбору метода противокоррозионной защиты, возможно уменьшить скорость коррозии металла труб нефтепроводов в процессе их эксплуатации, тем самым предотвращая образование сквозных проржавлений, потерю пропускной способности системы и уменьшение напора на трение, а также предупреждать аварийные разливы нефти и сокращать экономические и энергетические затраты.

В рамках научно-исследовательской работы необходимо проанализировать существующие методы защиты, изучить нормативную документацию, которая регламентирует требования к противокоррозионной защите, и выбрать оптимальные параметры электрохимической защиты для практического применения.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является сравнение двух существующих способов поддержания надежности эксплуатации МГ, а также оценка экономических показателей от внедрения систем ЭХЗ.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности введения ЭХЗ;
- расчет затрат на реализацию проекта;
- планирование научно-исследовательских работ и работ по реализации.

##### **4.1. Расчёт капитальных затрат.**

Для достижения успеха на рынке важно регулярно проводить детальный анализ конкурирующих разработок, учитывая постоянное изменение условий.

Такой анализ помогает улучшить научное исследование, противостоять соперникам и достичь успеха. Необходимо объективно оценить преимущества и недостатки конкурирующих разработок.

Анализ технических решений, учитывая ресурсоэффективность и ресурсосбережение, позволяет оценить относительную эффективность научной разработки и определить пути ее дальнейшего улучшения. Этот анализ следует проводить с помощью оценочной карты.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

Одним из основных показателей при расчете экономической эффективности являются капитальные затраты. Они состоят из двух составляющих: капитальные вложения на проектирование и капитальные вложения на реализацию проекта [13].

1. Капитальные вложения на проектирование средств ЭХЗ согласно смете составляют:

$K_{пр} = 5\,577\,824$  руб.

Капитальные вложения на реализацию проекта включает:

2. Затраты на приобретение оборудования (таблица 4.1);

*Таблица 4.1 – Стоимость оборудования*

Наименование оборудования	Един. изм.	ол.	Цена за единицу , руб.	Всего, руб.
КМО-НГК-ИПКЗ-Евро-2.0/48/У2	шт.		7 755 336	15 510 672
Анодный заземлитель «Менделеевец»- ММ	компл ект.		350 677	350 677
Медносульфатный электрод сравнения, неполяризующийся	шт.	0	17 952	538 565
Пункт контрольно- измерительный на 6 силовых и 12 измерительных зажимов	шт.	0	15 000	450 000

Блок-бокс с утепленной оболочкой, освещением, отоплением и вентиляцией	шт.		1 236 857	2 473 714
Дизель-электрическая установка	шт.		2 500 811	2 500 811
Трансформатор ОМП 10/10-0,23	шт.		70 000	70 000
Разъединитель РЛНД 1-10-200	шт.		15 000	15 000

Наименование оборудования	Един. изм.	ол.	Цена за единицу, руб.	Всего, руб.
Предохранитель ПКТ 101-10-2-12,5	шт.		3 500	3 500
Разрядник РВО-10 У1	шт.		1 500	1 500
			Итого	21 914
			Коб	439

3. Транспортные затраты на доставку оборудования составляют 5% от стоимости оборудования:

$$K_{тр} = 0,05 \cdot 21\,914\,439 = 1\,095\,721,95 \text{руб.}$$

4. Расчет амортизационных отчислений для оборудования электрохимической защиты от коррозии магистрального газопровода проведен согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 06.07.2015) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы" представлены в таблице 4.2.

*Таблица 4.2 — Амортизационные отчисления для оборудования электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов*

№	Наименование	Амортизационная группа	Норма амортизации	Сумма амортизации за 1 год, рублей
1	Блок-боксы с утепленной оболочкой, освещением, отоплением и вентиляцией	7 группа	8 %	197 897
2	Комплекс модульного оборудования НГК-ИПКЗ-Евро-2.0/48/У2	6 группа	6,8 %	1 054 725
3	Дизель-электрическая установка	6 группа	6,8 %	170 055
4	Пункт контрольно-измерительный	6 группа	5,3 %	23 850
5	Медносульфатный электрод сравнения, неполяризующийся	5 группа	4,8 %	25 851
6	Анодный заземлитель «Менделеевец»-ММ	5 группа	5,5 %	19287
7	Комплекс вспомогательного оборудования	6 группа	7 %	6 300
			Итого:	1 497 965

Объединим в один комплекс трансформатор ОМП 10/10-0,23, разъединитель РЛНД 1-10-200, предохранитель ПКТ 101-10-2-12,5, разрядник

РВО-10 У1, т.к. они являются вспомогательными устройствами, подключаемых к системе электрохимической защиты магистральных трубопроводов от коррозии и принадлежат к 6 амортизационной группе, с нормой амортизации 7%.

Затраты на материалы представлены в таблице 4.3.

*Таблица 4.3 – Затраты на материалы*

п/п	Наименование	Ед.	Кол-во	Цена	Сумма, руб.
	Затраты на топливо	-	1	1 500 000	1 500 000
	Строительные материалы	-	1	2 500 000	2 500 000
	Лакокрасочные материалы	-	1	900 000	900 000
	Другие затраты	-	1	500 000	500 000
ИТОГО К <sub>мат</sub>					5 400 000

5. Затраты на демонтаж старого и на монтаж нового оборудования представлены в таблице 4.

Монтаж и демонтаж оборудования производится специалистами инженерно-технического отдела. Рассмотрены основные виды работ, которые необходимы для проведения реконструкции средств электрохимической защиты и представлены в таблице 4.4. Данные виды работ относятся к контрагентным услугам.

*Таблица 4.4 – Затраты на демонтаж старого и на монтаж нового оборудования*

№	Наименование работ	Обоснование работ	Сумма затрат, руб.
Демонтаж системы ЭХЗ			
	Демонтаж средств ЭХЗ: оборудования СКЗ, стоек КИП	1. Демонтаж устройств катодной защиты высоковольтного УКЗВ с разборкой защитного заземления; 2. Демонтаж стоек КИП с кабелями сечением 6 мм <sup>2</sup>	84 627,52
2	Демонтаж участка воздушной линии электропередачи	1. Демонтаж проводов ВЛ 10 кВ; Демонтаж разъединителей РЛНД-1-10/200; 2. Демонтаж трансформатора напряжения однофазного силового ОМП- 10/10-0,23; 3. Демонтаж опор ВЛ 0,38-10 кВ.	382 983
3	Вывоз демонтированных конструктивных элементов ВЛ	1. Вывоз конструкций и материалов демонтированных опор ВЛ 0,38-10 кВ; 2. Погрузка демонтированного провода АС-35, трансформатора, блок-бокса, РЛНД, стоек, электродов сравнения при автомобильных перевозках.	206 454,5
Итого:			674,065

№	Наименование работ	Обоснование работ	Сумма затрат, руб.
---	--------------------	-------------------	--------------------

Монтаж системы ЭХЗ			
1.	Разработка траншей для канализации кабельных линий, установки средств системы ЭХЗ	1. Разработка грунта в траншеях экскаватором.	290 124
2.	Устройство участка канализированных кабельных линий электропередачи взамен демонтированного участка воздушных линий	1. Прокладка кабеля ВБбШв 3x35мм <sup>2</sup> в готовых траншеях без покрытий; 2. Прокладка опознавательной (сигнальной) ленты ЛСГ200.	2 065 379,73
3.	Прокладка в траншеях системы катодной защиты	1. Прокладка кабелей ВБбШв 2x25 мм <sup>2</sup> , ВБбШв 2x6 мм <sup>2</sup> в готовых траншеях без покрытий; 2. Прокладка кабеля ВБбШв 4x1,5 мм <sup>2</sup> в готовых траншеях без покрытий.	240 764,3

№	Наименование работ	Обоснование работ	Сумма затрат, руб.
Монтаж системы ЭХЗ			
4.	Отсыпка площадок под блок-боксы щебнем	1. Отсыпка площадки щебнем послойным уплотнением;	412 783,38

5.	<p>Монтаж площадки под блок-боксы 3,4x2,5 м</p>	<p>1. Гидроизоляция боковая обмазочная мастикой битумно-полимерной в 2 слоя поверхностей трубопровода фундамента;</p> <p>2. Монтаж площадок под блок-боксы с настилом и Ограждением из листовой, рифленой, просечной, прокатной стали;</p> <p>3. Монтаж лестниц прямолинейных с ограждением для площадок под блок-боксы;</p> <p>4. Огрунтовка металлических поверхностей;</p> <p>5. Окраска металлических огрунтованных поверхностей.</p>	838 561,88
----	---	---	------------

6.	<p>Монтаж оборудования СКЗ</p>	<p>1. Монтаж устройства катодной защиты высоковольтного УКЗВ с устройством защитного заземления.</p>	3 567 658,85
----	--------------------------------	--	--------------

7.	Трансформатор напряжения установленный на опоре	1. Монтаж ранее демонтированного трансформатора (преобразователя).	78 052,64
8.	Установка стоек КИП, электродов сравнения, Термитная приварка катодных выводов	1. Установка стойки КИП с кабелями сечением: 2х6 мм <sup>2</sup> ; 2. Установка неполяризуемого электрода сравнения; 3. Термит ная приварка и изоляция катодного вывода (кабеля).	1 074 996
9.	Засыпка траншей при устройстве кабельной канализации	1. Засыпка траншей и котлованов.	62 277,91
ИТОГО:			8 630 598,69

Итого затраты на демонтаж и монтаж оборудования составляют 9 218 482,71 руб.

6. Общая сумма капитальных затрат составляет:  
 $K = K_{пр} + K_{об} + K_{тр} + A + K_{мат} + K_{дм} = 5\,577\,824 + 21\,914\,439 + 1\,095\,721,95 + 1\,497\,965 + 5\,400\,000 + 9\,218\,482,71 = 39\,704\,432$

Таким образом, общая сумма капитальных затрат составила 39 704 432 руб.

## 4.2. Расчёт эксплуатационных издержек

1. Затраты на все виды ремонта, кроме капитального, составляют 2 % от стоимости капитальных затрат:

$$Зр = 39\,704\,432 \cdot 0,02 = 794\,088 \text{ руб.}$$

2. Затраты на содержание и обслуживание составляют 3 % от стоимости

капитальных затрат:

$$Зобс = 39\,704\,432 \cdot 0,03 = 1\,191\,132 \text{ руб.}$$

3. Фонд оплаты труда: численность производственного и инженерно-технического персонала принята в количестве 10 человек. Заработные платы представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Фонд оплаты труда

п/п	Должность	Числ.	Заработная плата в месяц с районным коэффициентом, руб.	Заработная плата в год, руб.
	Мастер	2	80 000	1 920 000
	Инженер-технолог	2	50 000	1 200 000
	Монтер ЭХЗ 5 разряда	4	45 000	2 160 000
	Слесарь	2	40 000	2 400 000
<i>Итого(Ззар)</i>				7 680 000

4. Социальные отчисления указаны в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Социальные отчисления

Фонд	Размер вноса от зарплаты, %	Сумма, руб
------	-----------------------------	------------

Пенсионный фонд	22	1 689 600
Фонд медицинского страхования	5,1	391 680
Фонд социального страхования	2,9	222 720
Страхование от несчастных случаев и производственных заболеваний (класс 1)	0,2	15 360
	<i>Итого (Ксоц)</i>	2 319 360

5. Затраты на электроэнергию: установленная электрическая мощность станции катодной защиты не более 0,4 кВт/час, исходя из местного тарифа (3 руб/кВт·час) и из того, что оборудование будет работать 24 часа в сутки и 365 дней в году затраты составят:

$$З_{эл} = 24 \cdot 365 \cdot 0,4 \cdot 3 = 10\,512 \text{ руб.}$$

6. Прочие затраты составляют 5 % от стоимости капитальных затрат:

$$З_{проч} = 39\,704\,432 \cdot 0,05 = 1\,985\,221 \text{ руб.}$$

7. Общая сумма эксплуатационных издержек составляет:  
 $З_{экс.общ} = З_r + З_{обс} + З_{зар} + К_{соц} + З_{соц} + З_{эл} + З_{проч} = 794\,088 + 1\,191\,132 + 7\,680\,000 + 2\,319\,360 + 10\,512 + 1\,985\,221 = 13\,980\,313 \text{ руб.}$

#### **4.3. Расчёт экономической эффективности**

Определим годовую экономическую эффективность от применения электрохимической защиты газопровода длиной 60 км, диаметром 1020 мм. Предположим, что участки с дефектными повреждениями, подлежащими замене, в сумме располагаются в диапазоне 1000 м. Произведем экономический расчет затрат по замене дефектных участков.

Стоимость строительно-монтажных работ, труб и материалов по замене дефектных участков трубопровода диаметром 1020 мм в условиях ООО «Газпром трансгаз Томск» определяется по формуле:

$$СБ = ССМР + СТР + СМАТ = 75\,000\,000 \text{ руб.}$$

где  $СБ [10^6 \text{ руб/км}]$  – общая стоимость работ;  $ССМР = 70 \cdot 10^6 \text{ руб/км}$  – стоимость строительно-монтажных работ;  $СТР = 3 \cdot 10^6 \text{ руб/км}$  – стоимость трубы;  $СМАТ = 2 \cdot 10^6$  – стоимость материалов.

Годовой экономический эффект от внедрения нового оборудования:

$$\text{Эгод} = \text{СБ} - \text{Зэкс.общ} = 75\,000\,000 - 13\,980\,313 = 61\,019\,687 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений – это отношение затрат на модернизацию к годовому экономическому эффекту:

$$T = \frac{K}{\text{Эгод}} = \frac{39\,704\,432}{61\,019\,687} = 0,65 \text{ лет}$$

Коэффициент экономической эффективности – отношение годового экономического эффекта к затратам на создание и внедрение новой системы управления составит:

$$\text{Э} = \frac{\text{Эгод}}{K} = \frac{61\,019\,687}{39\,704\,432} = 1,53 \text{ лет}$$

Результаты экономического обоснования сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Экономическое обоснование проекта

Статьи затрат	Затраты	Единицы измерений
Капитальные затраты		
Стоимость нового оборудования	21 914 439	руб.
Транспортные расходы	1 095 721,95	руб.
Заработная плата работникам (контрагентам)	9 218 482,71	руб.
Материальные затраты	5 400 000	руб.
Проектирование	5 577 824	руб.
Итого	39 704 432	руб.

Эксплуатационные издержки		
Затраты на ремонт	794 088	руб.
Содержание и обслуживание приборов и средств автоматизации	1 191 132	руб.
Заработная плата работникам	7 680 000	руб.

Социальные отчисления	2 319 360	руб.
Затраты на электроэнергию	10 512	руб.
Прочие затраты	1 985 221	руб.
Итого	15 685 171,59	руб.
<b>Годовой экономический эффект</b>	61 019 687	<b>руб.</b>
<b>Срок окупаемости капитальных затрат</b>	0,65	<b>год</b>
<b>Коэффициент экономической эффективности</b>	1,53	–

## **5. Социальная ответственность**

Что такое социальная ответственность – это ответственность перед обществом или людьми, когда подразделение или организация учитывают интересы общества и коллектива. Компания берет на себя ответственность за работников, поставщиков, акционеров и заказчиков (ГОСТ Р ИСО 26000-2012) [14].

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов, которые могут влиять на персонал работников службы электрохимической защиты во время рабочего процесса. Также поднимаются вопросы пожарной профилактики, техники безопасности и защиты окружающей среды. По тематике даются рекомендации по повышению оптимальных условий труда.

### **5.1. Производственная безопасность**

При прокладке трубопровода подземным способом вредные и опасные факторы сопутствуют на протяжении всего времени выполнения работ. Социальная ответственность обеспечивает безопасную жизнедеятельность

человека, которая в основном зависит от правильной оценки производственных факторов.

Производственные факторы могут вызвать изменения в организме человека. Факторами служат производственная среда, умственная и физическая нагрузка, нервное напряжение, эмоциональное напряжение, климат и сочетание причин.

Для целостного представления об источниках вредностей и опасностей и всех основных выявленных вредных и опасных факторах на рабочем месте, ниже представлена таблица 5.1 «Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении реконструкции».

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится с использованием ГОСТ 12.0.003–2015 [2]. Название вредных и опасных производственных факторов в работе соответствуют приведенной классификации. Определены название характерных видов работ и вредных производственных факторов (ОВПФ).

*Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении реконструкции.*

Наименование видов работ	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
1. Монтаж, эксплуатация и ремонт автоматических станций катодной защиты и автоматических электродренажных установок; 2. Проведение контрольных электроизмерений на подземных	1. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения; 2. Климатические и погодные условия на рабочем месте; 3. Укусы насекомых; 4. Движущиеся	1. Факторы связанные с электрическим током; 2. Факторы физической природы(обусловленные свойствами воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться и т.п.)	- ВРД 39-1.10-006-2000* [20] - ГОСТ Р 51164-98 [21] - ГОСТ 9-602-2005 [22] - ГОСТ 12.0.003-74 [23] - ГОСТ Р 12.1.019-2009 [24] - ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ [37];

<p>трубопроводах и источниках блуждающих токов в сложных коррозионных условиях;</p> <p>3. Определение степени коррозионной активности грунта;</p> <p>4. Проверка изоляционных покрытий трубопровода визуальным и инструментальными методами.</p>	<p>газообразные объекты в рабочем месте.</p>		<p>-ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ [37].</p> <p>ГОСТ 5542-2014 [38]</p> <p>ОСТ 51-45-76 [39]</p>
--	--	--	--

## 5.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Персонал службы электрохимической защиты магистрального газопровода подвержены воздействию вредных факторов:

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Рациональное производственное освещение имеет большое значение для создания благоприятных условий труда на предприятиях.

Неудовлетворительное освещение затрудняет работу, снижает производительность труда, приводит к заболеваниям органов зрения и несчастным случаям. Световое излучение оказывает воздействие на органы зрения и весь организм, изменяя частоту пульса, нарушая процессы обмена и нервно-психическое состояние. Хорошие световые условия оказывают

благоприятное психофизическое воздействие на работоспособность и активность человека, на качество работы.

Отсутствие или недостаток естественного освещения в рабочем помещении классифицируют как вредный производственный фактор.

Применение только местного освещения в производственных помещениях запрещено. Рекомендуется комбинированное освещение согласно СНиП 23-05-95 (таблица 5.3.) [4].

Таблица 5.3. - Рекомендуемые источники света при системе комбинированного освещения

Характеристика зрительной работы по требованиям к цветоразличению	Освещенность при системе комбинированного освещения, лк	Минимальный индекс цветопередачи источников света, $R_a$		Диапазон цветовой температуры источников света, $T_c$ , °К		Примерные типы источников света для освещения	
		общего	местного	общего	местного	общего	местного
Различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению	500	50	50	3500-5500	3500-5500	ЛБ, (ЛХБ), МГЛ, НЛВД+МГЛ	ЛБ, (ЛХБ)
	300, 400	40	50	3200-5000	3500-5000	ЛБ, (ЛХБ), МГЛ, (ДРЛ), НЛВД+МГЛ	ЛБ, (ЛХБ)
	150, 200	35	50	3000-4500	3500-5000	ЛБ, (ЛХБ), НЛВД+МГЛ, МГЛ, (ДРЛ)	ЛБ, (ЛХБ)
	300, 400	35	50	3200-5000	2800-5000	ЛБ, (ЛХБ), МГЛ, (ДРЛ), НЛВД+МГЛ	ЛБ, (ЛХБ)
	150, 200	25	50	2400-4500	2800-4500	ЛБ, (ЛХБ), НЛВД, МГЛ, (ДРЛ)	ЛБ, (ЛХБ)

### 3. Климатические и погодные условия на рабочем месте.

Более 6 месяцев отрицательные температуры, на протяжении 3-х месяцев

температура меньше -25 С,

В период морозов температура менее -40-45 С.

Гористая местность от 500 до 2000 метров

Сейсмичность некоторых районов достигает 9 баллов

Более 20% территорий заболоченные земли и болота

Многолетние мёрзлые породы присутствуют на большей части протяжённости трассы.

Холод может привести к переохлаждению, высокие температуры к тепловому удару.

Нормирование параметров на открытых площадках не производится, но определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия их на организм рабочего. Работаящие на открытой территории в зимний и летний периоды года в каждом из климатических регионов должны быть обеспечены спецодеждой:

- костюм от защиты от воды из синтетической ткани с пленочным покрытием;

- комбинезон для защиты от токсичных веществ и пыли из нетканых материалов;

- костюм из смешанных тканей для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий с маслостойкой пропиткой или костюм из хлопчатобумажной ткани с огнезащитной пропиткой или костюм из огнестойких тканей на основе смеси мета- и параамидных волокон;

- костюм противоэнцефалитный;

- футболка;

- ботинки кожаные с жестким подноском или сапоги кожаные с жестким подноском;

- сапоги резиновые с жестким подноском или сапоги болотные с жестким подноском;

- нарукавники из полимерных материалов;
- перчатки с полимерным покрытием;
- перчатки резиновые или из полимерных материалов;
- каска защитная;
- подшлемник под каску;
- очки защитные;
- маска или полумаска со сменными фильтрами.

На наружных работах зимой дополнительно:

- костюм из смешанных тканей для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий с маслостойкой пропиткой на утепляющей прокладке или костюм из смешанных тканей с огнезащитной пропиткой на утепляющей прокладке;
- жилет утепленный;
- жилет меховой;
- белье нательное утепленное;
- ботинки кожаные утепленные с жестким подноском или сапоги кожаные утепленные с жестким подноском;
- валенки с резиновым низом;
- перчатки с полимерным покрытием, нефтеморозостойкие;
- перчатки шерстяные (вкладыши).

#### 4. Укусы насекомых

Тема укусов насекомых особо актуальна в весенне-летний период. С появлением первой травы еще до развертывания листьев активизируется клещи. Опасность этих насекомых заключается в том, что они являются переносчиками таких опасных заболеваний, как клещевой энцефалит, боррелиоз, геморрагическая лихорадка, бабезиоз и т.д. После укуса такие симптомы, как слабость, головная боль, тошнота, могут завершиться тяжелыми поражениями

центральной нервной системы, менингитными очагами, вплоть до инвалидизации пострадавшего [5].

Стоит обратить пристальное внимание на следующие факторы:

– наличие места укуса (следа укуса) или его отсутствие – не является основополагающим, т.к. согласно п. 2.2. и 2.3.5. СП 3.1.3.2352-08 «Профилактика клещевого энцефалита» [5].

2.2. Клещи заражают человека во время присасывания или их раздавливания в местах поврежденной кожи человека.

2.3.5. В отдельных случаях заражение реализуется контактным или воздушно-капельным путем (при аварийных ситуациях в лабораториях или в природном очаге при заносе инфекции на слизистые оболочки при раздавливании клеща и инфицированными руками».

Перечень работ, выполнение которых связано с высоким риском заболевания инфекционными болезнями, требующих обязательного проведения профилактических прививок регламентируется Постановлением Правительства РФ от 15.07.1999 N825 [5].

3. Движущиеся газообразные объекты в рабочем месте.

Загазованность на территории газодобывающего предприятия способствует появлению взрывоопасных смесей при достижении высокой концентрации.

Предельно допустимая концентрация природного газа в воздухе составляет 300 мг/м<sup>3</sup> согласно ГОСТ 5542-2014 [6].

Требуется постоянный контроль за концентрацией природного газа в воздухе, недопускание утечек газа из установок. Для периодических замеров работнику следует применять переносной газоанализатор.

На установках должны предусматриваться мероприятия по предотвращению влияния токсичности газов на работающих (герметизация установок, газоулавливание и отвод газа для утилизации).

Отбор проб воздуха к датчику газоанализатора следует производить на рабочих местах помещений и открытых площадках на наиболее опасных и возможных (в смысле выделения газов) уровнях. Необходимо устанавливать не менее 1 датчика на каждые 100 м<sup>2</sup> площади помещения согласно ОСТ 51-45-76 [7].

### **5.3. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

Работники службы электрохимической защиты магистральных трубопроводов от коррозии подвержены влиянию такого опасного фактора как:

1. Факторы связанные с электрическим током.

Наибольшую опасность для жизни и здоровья человека оказывают повышенные значения напряжения в электрической цепи, замыкание которых может произойти через тело человека при приближении на расстояние менее допустимого к не изолированным токоведущим частям и элементам оборудования, находящимся под напряжением, а также при перемещении и работе в зонах растекания тока замыкания на землю, влияния электрического поля и наведенного напряжения.

Источником тока на объекте является преобразователь станции катодной защиты магистрального газопровода, воздушные линии электропередач (ВЛ).

Во избежание поражения электрическим током работник службы электрохимической защиты должен придерживаться правил Постановления, утвержденных Министерством труда и социального развития Российской Федерации от 12 мая 2003 г. №27 [8].

Требования охраны труда при эксплуатации установок электрохимической защиты от коррозии и электрических измерениях на газопроводах [9]:

- при техническом обслуживании установок электрохимической защиты (далее – установки) запрещается очищать контакты реле без отключения от сети переменного тока, касаться руками электрической схемы преобразователя, производить чистку шкафа от пыли, снега и загрязнения;

- при включении установок следует вначале подключить нагрузку, а затем включить переменный ток. Отключение производится в обратном порядке;

- при проведении электрических измерений на контрольных пунктах газопроводов, расположенных на проезжей части автомобильной дороги, на путях трамвая и электрифицированного железнодорожного транспорта, один из работников должен, выставив предупредительный знак, вести наблюдение за движением транспорта и следить за безопасностью работ;

- при длительных электрических измерениях и интенсивном движении транспорта измерительные приборы следует устанавливать в безопасной зоне, подключая их к контрольным пунктам газопроводов и другим точкам измерения посредством кабеля или изолированных и заключенных в резиновую трубку проводов;

- электрические измерения на контрольных пунктах газопроводов, расположенных на путях электрифицированного железнодорожного транспорта, производятся после согласования проведения измерений с организацией, эксплуатирующей данный участок железной дороги;

- при проведении электрических измерений на контрольных пунктах газопроводов, расположенных на путях трамвая и электрифицированной железной дороги, на тяговых подстанциях и дренажных установках, персоналу запрещается: - прикасаться непосредственно или через другие предметы к контактными проводам или оборудованию, находящемуся под напряжением; - приближаться на расстояние менее 2 м к контактной сети, не огражденным проводникам или частям контактной сети; - прикасаться к оборванным проводам

контактной сети и находящимся на них посторонним предметам; - подниматься на опоры контактной сети.

Требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации регламентируются ГОСТ Р 12.1.019- 2009 [10].

- Статическое электричество.

Статическое электричество образуется при трении двух диэлектриков друг о друга или диэлектриков о металл, при этом на поверхности трущихся веществ могут накапливаться заряды. При достижении определенной величины может произойти разряд, который способен вызвать воспламенение горючей смеси.

Для защиты от статического электричества вся металлическая аппаратура, резервуары, газо- и конденсатопроводы, насосы и т.д. должны быть заземлены. Заземление проверяется периодически один раз в год, а также после ремонтных работ [3].

Средства защиты работников делятся на средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты [11].

Средства коллективной защиты от статического электричества по принципу действия делятся на следующие виды [11]:

- заземляющие устройства;
- нейтрализаторы;
- увлажняющие устройства;
- антиэлектростатические вещества;
- экранирующие устройства.

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения делятся на [10]:

- специальную одежду антиэлектростатическую;
- специальную обувь антиэлектростатическую;
- предохранительные приспособления антиэлектростатические;
- средства защиты рук антиэлектростатические.

## 5.4. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это система мер, направленная на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей средой, обеспечивающая сохранение и восстановление природных богатств, разумное использование природных ресурсов, предупреждающая вредное влияние результатов деятельности общества на природу и здоровье человека.

Для организации охраны окружающей среды от негативного воздействия при замене средств электрохимической защиты первоочередной задачей является определение конкретных источников негативного воздействия на основной элемент окружающей природной среды рассматриваемой территории – на земельные и лесные ресурсы.

В таблице 5.4. представлены источники негативного воздействия и природоохранные мероприятия.

*Таблица 5.4 – Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при выполнении замене средств электрохимической защиты магистрального газопровода*

Природные ресурсы и компоненты ОС	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
Земля и земельные ресурсы	Уничтожение и повреждение почвенного слоя, сельхозугодий и других земель	Рациональное планирование мест и сроков проведения работ. Соблюдение нормативов отвода земель. Рекультивация земель

	<p style="text-align: center;">Загрязнение почвы нефтепродуктами, химреагентами и др.</p>	<p style="text-align: center;">Сооружение поддонов, отсыпка площадок для стоянки техники.  Вывоз, уничтожение и захоронение остатков нефтепродуктов, химреагентов, мусора, загрязненной земли и т.д.</p>
--	---	--

В целях охраны и рационального использования земельных ресурсов при производстве строительно-монтажных работ должны соблюдаться следующие основные требования к их проведению:

- неукоснительное соблюдение границ отведенных при замене ЭХЗ земельных участков и исключение сверхнормативного изъятия земель;
- недопущение захламления строительной зоны мусором, отходами изоляционных покрытий и других материалов, а также загрязнение ее горюче смазочными материалами;
- использование парка строительных машин и механизмов, имеющих минимально возможное удельное давление ходовой части на подстилающие грунты, в целях снижения техногенного воздействия;
- своевременное и качественное выполнение всех природоохранных мероприятий, таких как противоэрозионные мероприятия и техническая рекультивация;
- использование природо- и ресурсосберегающих технологий проведения строительно-монтажных работ, позволяющих сократить потребность в древесине, песчано-гравийном грунте и др.;
- рациональное использование материальных ресурсов, снижение объема отходов производства с их последующей утилизацией или обезвреживанием.

По окончании реконструкции земли подлежат рекультивации, которая заключается в приведении земель в состояние, пригодное для их дальнейшего использования по назначению. Рекультивация земель является одной из

важнейших составляющих комплекса мероприятий по восстановлению природных ресурсов [12].

## **5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Магистральный нефтепровод является опасным производственным объектом, т.к. по нему транспортируется опасное вещество.

Объект строительства - система электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. не относится к опасным производственным объектам [13].

Опасных веществ в соответствии с таблицами №1 и №2 приложения 2 Федерального Закона № 116-ФЗ на объекте строительства нет [13].

Опасная зона наземных объектов строительства ограничена ограждением. Поражение людей, случайно оказавшихся в зоне действия поражающих факторов при аварии маловероятно.

В районе замены средств ЭХЗ возможно возникновение чрезвычайной ситуации техногенного характера – пожары (взрывы). Пожарная безопасность проектируемых объектов обеспечивается строительными конструкциями и применяемыми материалами необходимой огнестойкости. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров. Общие требования пожарной безопасности изложены в Федеральном законе от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. от 13.07.2015).

Мероприятия по пожарной безопасности разделяются на четыре основные группы: [26]

- 1) предупреждение пожаров, т.е. исключение причин их возникновения;
- 2) ограничение сферы распространения огня;

3) обеспечение успешной эвакуации людей и материальных ценностей из очага пожара;

4) создание условий для эффективного тушения пожара.

Допуск работников к проведению работ должен осуществляться после прохождения ими противопожарного инструктажа. Если происходит изменение специфики работ, то необходимо провести внеочередной инструктаж.

Применяемое оборудование по пожаро- и взрывозащите в службе ЭХЗ на станциях катодной защиты соответствует категории- Д.

В помещении блочно-комплектного устройства ЭХЗ предусмотрены первичные средства пожаротушения. К ним относятся асбестовое полотно, песок, лопата, кошма, ведро, ручные и переносные огнетушители.

В ходе выполнения задания по разделу «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, которые могут оказать влияние на организм человека при работе с установкой электрохимической защиты. Был сделан вывод, что основным негативным фактором воздействия на почву является загрязнение ее нефтепродуктами, а наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией – возгорание установки ЭХЗ.

## **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе была рассмотрена литература в сфере противокоррозионной защиты. Были рассмотрены основные механизмы протекания коррозии. Также рассмотрели основные виды противокоррозионной защиты магистральных нефтепроводов.

Был произведен анализ существующих методов активной защиты нефтепроводов от коррозии. Рассмотрели методики, которые позволяют сделать и обосновать выбор оборудования, а также методики, позволяющие предсказать поведение коррозионных процессов. Также были выявлены основные преимущества методик и их недостатки.

Расчет противокоррозионной защиты выявил основные параметры установки катодной защиты такие как: средняя сила тока равна 2,32 А, длина защищаемой зоны составила 6651,5 м, число анодов равно четырем, срок службы проектируемого анодного заземления составил 136 лет, мощность катодной станции составила 40,83 Вт, число СКЗ равно 17. Также был составлен прогноз интенсивности коррозионных процессов на участке магистрального нефтепровода. При усредненных значениях параметров: защитного потенциала равного минус 1,3 В, силе тока равной 8 А, удельного сопротивления грунта равного 1806,85 Ом · м и удельного сопротивления антикоррозионного покрытия равного 39,22 Ом · м<sup>2</sup> значение скорости коррозии составило 0,084 мм/год, данный участок относится к зоне умеренной коррозионной опасности.

На основе технических и экономических расчетов выбрали катодную станцию марки НГК– ИПКЗ(М)– 0,6(48)– У1, с номинальной мощностью, равной 0,6 кВт, с номинальным суммарным током равным 12,5 А при выходном напряжении равным 48 В.

В заключении, хотелось бы сказать, что процесс коррозии является по своей природе необратимым, но инженер обязан уметь в своих силах уменьшить воздействие коррозионных процессов путем своих навыков, а именно применяя средства электрохимической защиты, тем самым обеспечив надежность и долговечность металлической конструкции.

## Список литературы

1. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей: учебное пособие – Москва: СтройиздатЮ 2004. – 320 с.;
2. Хижняков В.И. Сопротивление материалов. Коррозионное растрескивание: учеб. пособие для прикладного бакалавриата. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 5 с.;
3. Хайдерсбах Р. Защита от коррозии и металловедение оборудования для добычи нефти и газа: пер. с англ. яз.; под ред. Ф. М. Хуторянского. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 24 – 145 с.;
4. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины. – Введ. 01.01/ – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1969. – 12с.
5. Мустафин Ф.М., Кузнецов М.В., Быков Л.И. Защита от коррозии. Т. 1. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2004. – 806 с.
6. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. Учебник для вузов. – 4-е издание, испр. – М.: Высш. шк., Изд. центр «Академия», 2001. – 743с.
7. Кудрявцев А.А., Разинская О.И. Коррозия трубопроводов. современные методы защиты [Текст] / Кудрявцев А.А., Разинская О.И. // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. – 2015. №1- 1. – С. 61–64.
8. СТО Газпром 9.2–002–2009. Защита от коррозии. Электрохимическая защита от коррозии. Основные требования. Москва: Издательство стандартов, 2010
9. Скуридин Н.Н, Кузнецов А.А., Неганов Д.А., Глушков С.Ю. Применение методов статистической обработки данных для оценки коррозионного состояния магистральных нефтепроводов [Текст] / Скуридин Н.Н, Кузнецов А.А., Неганов Д.А., Глушков С.Ю. // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. №2 (6). – С. 91–95.

10. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А., Шаповалова Н.В., Тухватулина Л.Р., Креницына З.В.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
11. ПОТ Р О–112–001-95 Правила по охране труда при эксплуатации нефтебаз и автозаправочных станций.
12. Приказ Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 № 290н «Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты».
13. ГОСТ 12.0.003–2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2017-03-01. – М.: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2015. –28 с.
14. СНиП 23–05–95. Естественное и искусственное освещение.
15. ОСТ 51–45–76. Газодобывающие предприятия. Эксплуатация установок по сбору и подготовке газа к транспорту. Требования безопасности. (Введен в действие приказом Министерства газовой промышленности от 15 декабря 1975 г. N 143);
16. Постановление Минтруда РФ от 12.05.2003 N 27 "Об утверждении Межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации газового хозяйства организаций" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.06.2003 N 4726);
17. ГОСТ Р 51164–98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
18. ГОСТ Р 12.1.019–2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатуры видов защиты.
19. ГОСТ 12.4.124–83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. 1984.

20. Мустафин Ф.М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Нефтегазовое дело 2003. – 24 с.

21. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

22. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».