

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

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

Отделение нефтегазового дела

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
«Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью»

УДК 622.692.4.053.073(24):620.193

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б4А	Осипов О.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Цимбалюк А.Ф.	доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Макашева Ю.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Абраменко Н.С.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ОНД ИШПР</b>	Брусник О.В.	к. п. н., доцент		

# ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ БАКАЛАВРИАТА

## *Планируемые результаты обучения*

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<b><i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i></b>		
<b>Общие по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»</b>		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-6, УК-7, ОПК-1, ОПК-2), (ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i).</i>
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7).</i>
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11).</i>
P4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15).</i>
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, УК-8, ОПК-3, ОПК-7, ПК-16, ПК-17, ПК-18), (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d).</i>
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазового промышленного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22).</i>
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26).</i>
<i>в области проектной деятельности</i>		
P8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30), (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-e).</i>
<b>Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»</b>		
P9	Применять диагностическое оборудование для проведения технического	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
	диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	9,ПК-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".
Р10	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".
Р11	Оценивать результаты диагностических обследований, мониторингов, технических данных, показателей эксплуатации объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и  
 продуктов переработки»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

\_\_\_\_\_ Брусник О.В.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б4А	Осипову Олегу Сергеевичу

Тема работы:

«Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью»

Утверждена приказом директора (дата, номер)      № 3031/с от 27.04.2018 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.06.2018 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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 особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Объектом исследования является подземный трубопровод, проложенный в почве с повышенной коррозионной активностью, на котором ведется работы по антикоррозионной защите.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1.Изучить теоретические основы процессов коррозионных разрушений  2.Выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на возникновение коррозионных процессов;  3.Рассмотреть методы пассивной и активной защиты трубопроводов от коррозии  4. Произвести расчет магистрального нефтепровода и определить потери напора с коррозионным дефектом и без него.</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>нет</p>
--	------------

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

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Макашева Ю.С., ассистент ОСГН
«Социальная ответственность»	Абраменко Н.С., ассистент ОКД

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>01.02.2018</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Цимбалюк А.Ф.	доцент		01.02.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б4А	Осипов Олег Сергеевич		01.02.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б4А	Осипову Олегу Сергеевичу

<b>Инженерная школа</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Отделение</b>	<b>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. Газ и продуктов переработки»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Расчет сметной стоимости выполняемых изоляционных работ.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций, нормы расхода материалов, инструмента и др.</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 18%</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Расчет затрат и финансового результата реализации работ</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>График выполнения работ</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет экономической эффективности применяемой технологии</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<i>Смета затрат</i>
---------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	25.03.2018
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ассистент	Макашева Ю.С.			25.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Б4А	Осипов Олег Сергеевич		25.03.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б4А	Осипову Олегу Сергеевичу

<b>Инженерная школа</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Отделение</b>	<b>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»

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

<b>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</b>	Рабочим местом является участок условного магистрального нефтепровода. Трасса нефтепровода проходит в лесной зоне (тайга). Местность заболоченная, равнинная. Климат умеренный.
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, – средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul>	<p>1.1 Проанализировать выявленные вредные физико-химические факторы при ремонте магистрального нефтепровода, к которым относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей климата на открытом воздухе;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> </ul> <p>Рассмотреть средства коллективной и индивидуальной защиты от наиболее вредных факторов.</p> <p>1.2 Проанализировать выявленные опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Движущиеся машины и механизмы;</li> <li>– Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу–(выбросы);</li> </ul>	<p>Проанализировать следующие виды воздействий на природную среду в период ремонтных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Загрязнение выбросами выхлопных</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу– (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу– (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению– экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды</li> </ul>	<p>газов от строительной техники при производстве работ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Выбросы при производстве изоляционных работ;</li> <li>- Образование и размещение отходов, образующихся при ремонте.</li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ возможных чрезвычайных ситуаций на объекте и выбор наиболее типичной ситуации;</li> <li>– разработка первичных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– режимы труда и отдыха;</li> <li>– компоновка рабочей зоны.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	25.03.2018
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Абраменко Н.С.			25.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б4А	Осипов Олег Сергеевич		25.03.2018



**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и  
продуктов переработки»  
 Уровень образования бакалавриат  
 Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.02.2018	<i>Введение</i>	10
25.02.2018	<i>Общие сведения о коррозии стальных сооружений</i>	20
11.03.2018	<i>Анализ способов защиты от коррозии</i>	20
20.04.2018	<i>Проведение расчетов</i>	15
07.05.2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
15.05.2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
18.05.2018	<i>Заключение</i>	5
25.05.2018	<i>Презентация</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Цимбалюк А.Ф.	доцент		1.02.2018

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>ОНД ИШПР</b>	Брусник О.В.	к.п.н, доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120с., 12 рис., 15 табл., 16 источников, 0 прил.

Ключевые слова: коррозия, изоляция, магистральный трубопровод, активная защита, пассивная защита.

Объектом исследования является магистральный трубопровод.

Цель работы – анализ существующих методов борьбы с коррозионными разрушениями трубопроводов в грунтах с повышенной коррозионной активностью.

В процессе работы проводились: изучение теоретических основ процессов коррозионных разрушений; выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на возникновение коррозионных процессов; рассмотрение методов пассивной и активной защиты трубопроводов от коррозии.

В результате работы: произведен гидравлический расчет трубопровода с коррозионным дефектом и без дефекта

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					<i>10</i>	<i>113</i>
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						
						<b>НИ ТПУ гр. 2Б4А</b>		

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ.

### Определения

**Трубопровод магистральный** – единый производственно-технологический комплекс, включающий в себя здания, сооружения, его линейную часть, в том числе объекты, используемые для обеспечения транспортирования, хранения и (или) перевалки на автомобильный, железнодорожный и водный виды транспорта жидких или газообразных углеводородов, измерения жидких (нефть, нефтепродукты, сжиженные углеводородные газы, газовый конденсат, широкая фракция легких углеводородов, их смеси) или газообразных (газ) углеводородов, соответствующих требованиям законодательства Российской Федерации;

**Защита катодная** – торможение скорости коррозионного процесса посредством сдвига потенциала оголенных участков трубопровода в сторону более отрицательных значений, чем потенциал свободной коррозии этих участков;

**Покрытие защитное** – материал и (или) конструкция, изолирующая наружную или внутреннюю поверхность трубопровода от внешней или внутренней среды;

**Протектор** – электрод, выполненный из металла или сплава, имеющего более отрицательный потенциал, чем защищаемый трубопровод;

**Станция катодная** – комплекс электротехнического оборудования, предназначенный для создания постоянного электрического тока между анодным заземлителем и подземным сооружением (трубопровод, резервуар и др.) при катодной защите последнего от коррозии;

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Определения, обозначения и сокращения</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					<i>11</i>	<i>113</i>
<i>Консульт.</i>						<b>НИ ТПУ гр. 2Б4А</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

## Обозначения и сокращения

МН — магистральный нефтепровод;

РД — руководящий документ;

ЭХЗ — электрохимическая защита;

ДЭС — двойной электрический слой;

ЛКП — лакокрасочные покрытия;

СКЗ — станция катодной защиты;

КИП — контрольно-измерительный пункт.

					<i>Определения, обозначения и сокращения</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	15
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	18
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОРРОЗИИ СТАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ .	19
1.1. Виды процессов коррозионного разрушения .....	19
1.2. Способы защиты от коррозии .....	30
1.3. Антикоррозионные покрытия .....	36
1.3.1. Назначение изоляционных покрытий .....	36
1.3.2. Контроль качества изоляционных покрытий .....	44
1.4. Станции катодной защиты.....	47
2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ СООРУЖЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ	52
2.1. Термодинамика электрохимической коррозии .....	52
2.2. Электродные потенциалы металлов в электролитах .....	60
2.4. Катодная поляризация .....	68
3. КОРРОЗИЯ В ГРУНТАХ С ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ	73
АКТИВНОСТЬЮ .....	73
3.1. Коррозия в грунтах .....	73
3.2. Подземная коррозия стальных сооружений .....	80
3.3. Микробиологическая коррозия стальных сооружений .....	87
3.4. Коррозия подземных стальных сооружений блуждающими токами....	89
4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДА .....	93
4.1. Расчет трубопровода без коррозионного разрушения .....	93
4.2. Расчет газопровода с наличием коррозионного дефекта.....	95

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>						
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Содержание</i>						
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>							<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>							13	113	
<i>Консульт.</i>									НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>									

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	97
5.1 Расчёт нормативной продолжительности выполнения работ .....	97
5.2 Расчет сметной стоимости работ ресурсным методом. ....	98
5.2.1 Расчет стоимости материалов на проведение переизоляции трубопровода.....	99
5.2.2 Расчет стоимости оборудования для проведения переизоляции трубопровода.....	99
5.2.3 Затраты на амортизацию оборудования .....	100
5.2.4 Затраты на оплату труда.....	102
Затраты на оплату труда .....	102
5.3 Суммарные затраты на проведение ремонта .....	103
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	105
6.1 Производственная безопасность .....	106
6.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	107
6.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	109
6.2. Экологическая безопасность .....	111
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	114
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	116
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	116
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	118
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	119

## ВВЕДЕНИЕ

Мною была выбрана тема антикоррозионной защиты трубопроводов, так как коррозия — одна из важнейших проблем в эксплуатации трубопроводного транспорта нефти и газа. При выполнении работы были рассмотрены виды, механизм, термодинамика, кинетика электрохимической коррозии, назначение и конструкции изоляционных покрытий.

Коррозия — это процесс, который вызывает изменение свойств металла или его разрушение из-за электрохимического или химического воздействия окружающей среды. В области трубопроводного транспорта нефти и газа выделяются три аспекта антикоррозионной защиты:

- 1) экономический, имеющий цель уменьшить убытки, складывающиеся из стоимости труб и других металлических конструкций, пришедших в негодность вследствие коррозионного разрушения;
- 2) повышение надежности оборудования, которое в результате коррозии может разрушиться с очень плачевными последствиями, например, вследствие разгерметизации магистральных газонефтепроводов и резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, борьба с убытками, связанными с косвенными потерями в народном хозяйстве (остановка предприятий из-за недопоставки нефти и газа, потери транспортируемого продукта, загрязнение окружающей среды);
- 3) сохранность металлического фонда страны, предотвращение убытков в результате безвозвратной потери металла в виде продуктов коррозии.

Для защиты стальных сооружений от коррозии на предварительно подготовленную поверхность наносят изоляционные покрытия. Но изоляционные покрытия со временем стареют и разрушаются.

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					15	113
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

Влага с растворенными солями (электролит) попадает на оголенную стальную поверхность и образует местные гальванопары, разрушающие сооружение. Изоляционные покрытия могут оказаться некачественными и в процессе производства работ. Качество этих покрытий проверяют визуально и с помощью специальных приборов, что позволяет увеличить срок безаварийной эксплуатации объекта.

Большие потери металла от коррозии отмечаются на внутренних поверхностях трубопроводов и резервуаров при перекачке и хранении сточных вод, горячих жидкостей, серосодержащих и кислородосодержащих жидкостей. Для предотвращения подобного разрушения металла применяются органические и неорганические ингибиторы коррозии.

Долговечность работы трубопроводов во многом определяется качеством защиты его от постепенного разрушения под воздействием среды, окружающей металлические конструкции под землей, в воде и воздухе. Главная причина выхода из строя оборудования, предназначенного для транспорта, переработки и добычи — это коррозия. Коррозия уменьшает срок службы нефтегазового оборудования и оказывает непосредственное влияние на промышленную безопасность при его использовании. По этой причине борьба с коррозионным разрушением является одной из самых актуальных проблем на сегодняшний день в нефтегазовой отрасли.

Целью данной работы является анализ существующих методов борьбы с коррозионными разрушениями трубопроводов в грунтах с повышенной коррозионной активностью.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить теоретические основы процессов коррозионных разрушений;
2. Выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на возникновение коррозионных процессов;

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16



3. Рассмотреть методы пассивной и активной защиты трубопроводов от коррозии;
4. Произвести механический расчет магистрального нефтепровода и определить потери напора с коррозионным дефектом и без дефекта.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Во время написания выпускной квалификационной работы, использовалась руководящая документация, а так же научная и учебно-методическая литература.

Опираясь на ГОСТ Р 51164-98. «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии», РД 153-39.4-091-01. «Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии», а также на ГОСТ 12.3.016-87 ССБТ. «Строительство. Работы антикоррозионные. Требования безопасности», был произведен анализ активных и пассивных методов защиты трубопроводов от коррозии.

Гидравлический расчет трубопровода был произведен в соответствии с РД 39-30-718-82. «Методика гидравлического расчета нефтепроводов при перекачке газонасыщенных нефтей».

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
Разраб.		Осипов О.С.			Литературный обзор	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Цимбалюк А.Ф.					18	113
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОРРОЗИИ СТАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

## 1.1. Виды процессов коррозионного разрушения

Процесс коррозии подземного стального сооружения начинается с поверхности, контактирующей с коррозионно-активной внешней средой, и характеризуется скоростью проникновения коррозии в структуру металла. При этом на поверхности металла образуются коррозионные пятна и язвы, заполненные продуктами коррозии; также изменяется и внешний вид изделия. В зависимости от характера коррозионного разрушения различают местную и общую (сплошную):

- 1) сплошная — разрушение стального сооружения происходит равномерно по всей поверхности;
- 2) местная — разрушение стального сооружения происходит на отдельных участках.

Сплошная равномерная коррозия в системе трубопроводного транспорта нефти и газа встречается редко и, как правило, не представляет реальной опасности, так как в результате протекания сплошной равномерной коррозии поверхность становится более шероховатой, чем исходная (см. рис. 1.1а). Наиболее распространенной является именно сплошная неравномерная коррозия, которая протекает с различной скоростью на различных участках поверхности стального сооружения (см. рис. 1.1б). [2]

Отличие местной коррозии от сплошной состоит в том, что она охватывает лишь отдельные участки стального сооружения. Наиболее опасными являются следующие виды местной коррозии:

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					19	113
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

1. Структурно-избирательная. Происходит разрушение только какого-то одного компонента (см. рис. 11.в). Например, обесцинкование латуни;
2. Пятнами. Коррозионное разрушение в виде отдельных пятен, причем их диаметр много больше глубины (см. рис. 1.1г). Например, коррозия латуни в морской воде;
3. Язвами. Коррозионное разрушение имеет вид отдельных каверн, диаметр и глубина которых примерно равны (см. рис. 1.1д). Например, коррозия углеродистой стали в почве;
4. Точечная (питтинговая). Коррозионное разрушение представляет собой множество отдельных точек диаметром до 2 мм, при этом глубина много больше диаметра (см. рис. 1.1е). Питтинговая коррозия часто переходит в сквозную, часто именно этот вид коррозии является причиной разгерметизации подземного трубопровода или резервуара. Точечной коррозии подвергаются металлические конструкции в морской воде, растворах хлорида железа, смесях соляной и азотной кислот;
5. Межкристаллитная. Разрушение распространяется по границам кристаллов металла (см. рис. 1.1ж). Это один из наиболее опасных видов коррозии, так как внешний вид стального сооружения не меняется, вследствие чего металл очень быстро теряет прочность и пластичность;
6. Растрескивание. Разрушение происходит при воздействии коррозионной среды, внутренних, внешних напряжений растяжения трещин одновременно (см. рис. 1.1з). При этом виде разрушений коррозионная трещина может распространяться не только по межкристаллитно, но и транскристаллитно, т. е. через кристаллы;

					<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

7. Подповерхностная. Коррозионное разрушение начинается с поверхности и распространяется под ней так, что продукты коррозии и разрушение оказывается внутри самого металла (см. рис. 1.1и). Например, образование пузырей на поверхности листового металла на воздуховодах и других сооружениях.

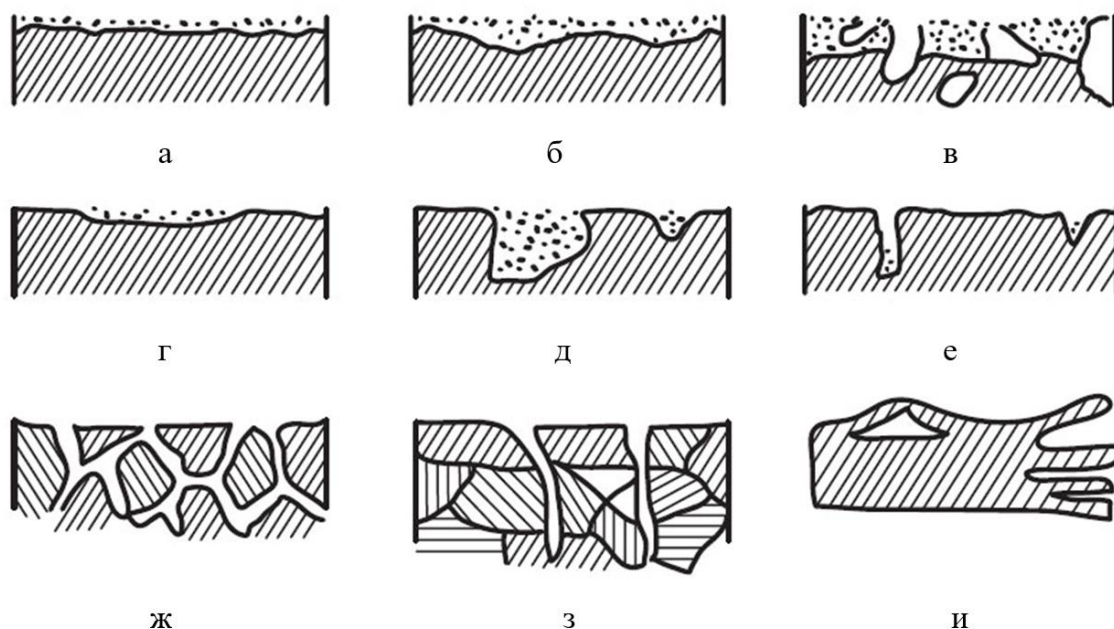


Рис. 1.1 – Основные виды коррозии

Примечание: а — сплошная равномерная; б — сплошная неравномерная; в — структурно-избирательная; г — пятнами; д — язвами; е — точечная (питтинговая); ж — межкристаллитная; з — расстрескивание; и — подповерхностная.

Рассмотрим подробнее питтинговую коррозию. Питтинг — разрушения локального типа, наблюдаемые в тех случаях, когда скорость коррозии на одних участках выше, чем на других. Глубокие точечные поражения возникают в случае, если значительное разрушение сосредоточено на относительно малых участках корродирующей поверхности; если площадь разрушения больше, а глубина небольшая, то возникают язвенные поражения.

Например, низкоуглеродистая сталь в почвенных условиях корродирует с образованием мелких язв, коррозия нержавеющей стали в морской воде сопровождается, как правило, образованием глубоких питтингов.

Глубину питтинга обычно характеризуют питтинговым фактором. Это отношение максимальной глубины проникновения коррозии к средней глубине, определенной на основе экспериментальных исследований. Питтинговый фактор, равный единице, соответствует равномерной коррозии (см. рис. 1.2).

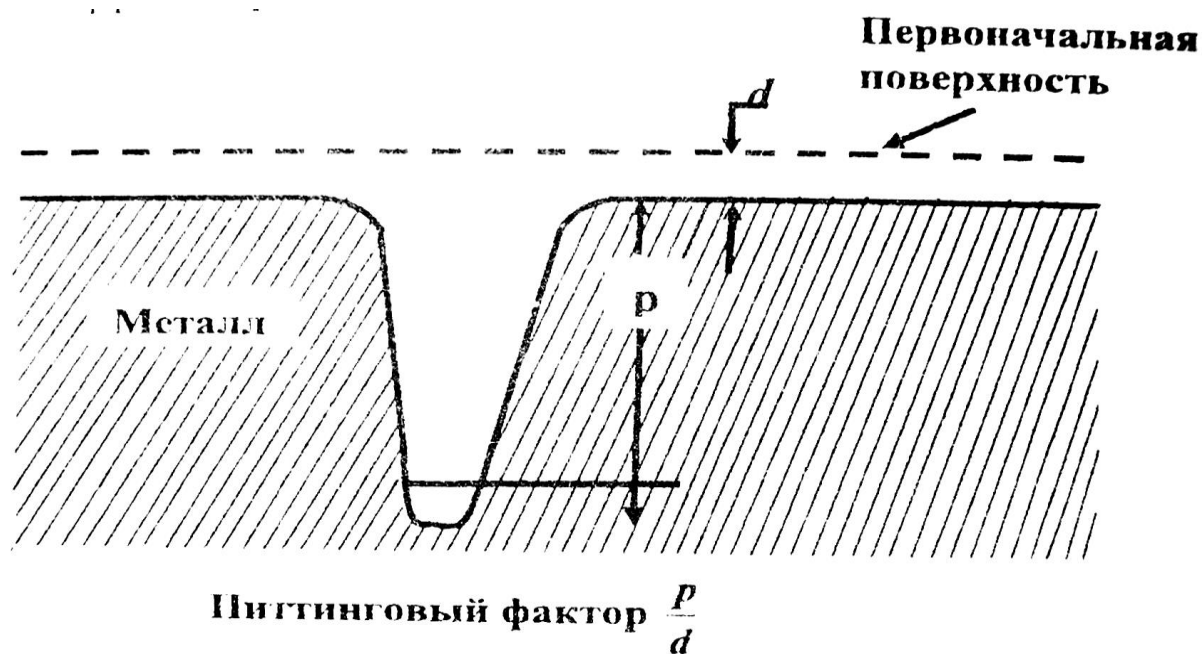


Рис. 1.2 – Схема, поясняющая физический смысл питтингового фактора

Факторы, влияющие на возникновение питтинговой коррозии:

1. Природа металла или сплава. Наиболее склоны к образованию питтингов цинк, никель, алюминий. Хром, кремний, молибден, питтингообразованию не подвергаются;
2. Температура. Чем выше температура, тем больше количество питтингов;
3. Состояние поверхности. Гладкая поверхность более стойка к питтинговой коррозии, чем шероховатая;

4. Кислотность среды. Питтинги чаще всего возникают в кислых средах;
5. Наличие примесей в среде;
6. Фреттинг коррозия. Возникает вследствие вибрационных смещений стальных контактных поверхностей друг относительно друга. Обычно сопровождается появлением питтингов на контактирующих поверхностях;
7. Кавитационная эрозия. Результат образования и схлопывания пузырьков газа на динамической поверхности раздела двух фаз — металл-жидкость. Она вызывает ряд питтингов, иногда сети трещин.

Основной причиной образования питтингов является электрохимическая гетерогенность стальной конструкции, например, в области сварного шва.

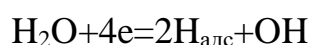
Коррозионное разрушение стальной конструкции в области сварного шва свидетельствует о том, что металл в околошовной зоне имеет более высокие внутренние напряжения, чем направленный металл собственно сварного шва и имеет более отрицательный электродный потенциал. В связи с этим в коррозионном гальваническом элементе «направленный металл — основной металл» околошовная зона сварного шва является анодом и подвержена интенсивному коррозионному разрушению. При избирательной коррозии происходит растворение одного или нескольких компонентов сплава, например, межкристаллитная коррозия сталей, которая развивается вдоль границ зерен. Причина ее — повышенная скорость растворения границ зерен. Частными случаями межкристаллитной коррозии хромоникелевых сталей является ножевая коррозия, протекающая в полосе основного металла, непосредственно прилегающей к сварному шву и оставляющая после себя след, подобный ножевому разрезу.

					<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

В свою очередь коррозионное растрескивание сталей под напряжением возникает при одновременном воздействии растягивающих напряжений и коррозионной среды.

Растрескивание металла под действием пульсирующих или растягивающих напряжений в контакте стальной поверхности с коррозионной средой называют коррозионной усталостью. Вне коррозионной среды сталь будет разрушаться при значительно большем числе циклов нагружения, если внутренние напряжения не достигли критического значения, которое называется пределом усталости. В коррозионной среде истинный предел усталости оборудования трубопроводного транспорта, как правило, не достигается.

Если трубная сталь при постоянном растягивающем напряжении с сероводородсодержащих грунтах подвергается растрескиванию сразу после нагружения или спустя время, это разрушение будет называется коррозионным растрескиванием под напряжением. В этом случае растрескивание вызывают атомы водорода, способные проникать в стенку трубы со стороны внешней катодно-защищаемой поверхности трубопровода, вследствие протекания реакции катодного разложения воды при чрезмерно завышенных потенциалах катодной защиты:



Поэтому величина поляризационного потенциала при катодной защите трубопроводов не должна превышать 1,1 В по м. э. с.[5]

Проведенный статистический анализ отказов по линейной части магистральных газонефтепроводов показал, что основными причинами является наружная и внутренняя коррозия (см. рис. 1.3).

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



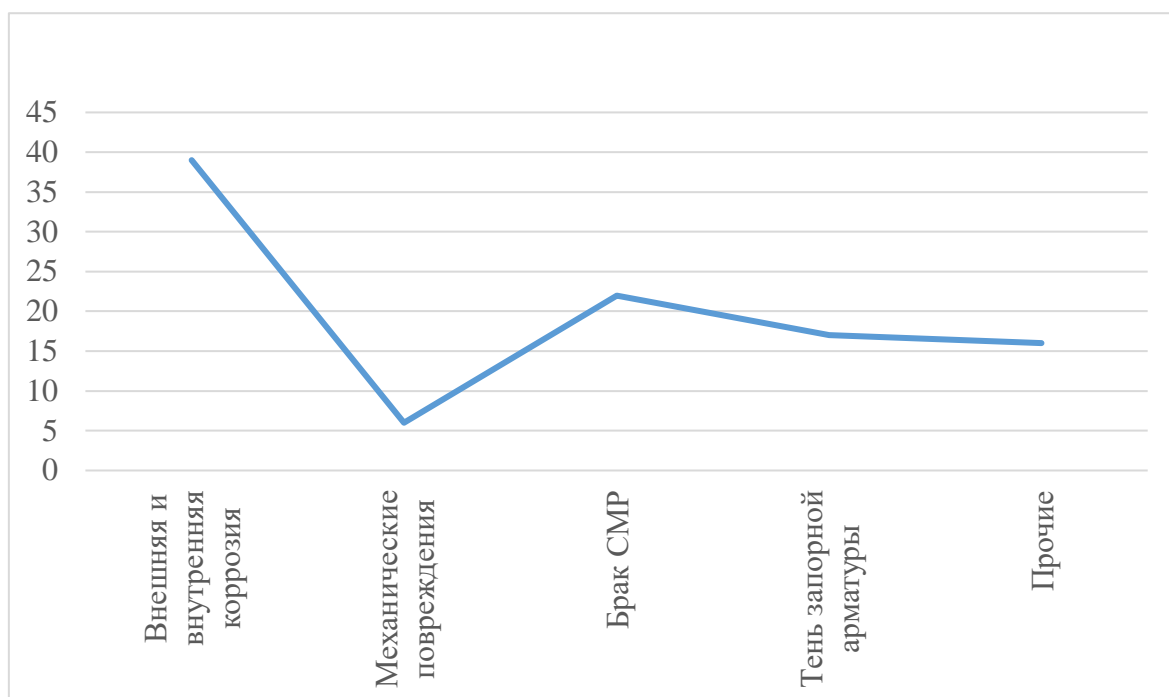


Рис. 1.3 – Основные причины отказов магистральных газонефтепроводов на линейной части

В настоящее время нефть и газ перед транспортировкой по магистральному трубопроводу проходят специальную подготовку. По этой причине доля отказов на магистральных газонефтепроводах, вызванных внутренней коррозией, не превышает 6% от количества отказов, вызванных наружной коррозией, обусловленных как коррозионным разрушением наружной поверхности, так и стресс-коррозионным разрушением трубопроводов со стороны внешней, катодно-защищаемой поверхности.

По мере старения магистральных трубопроводов стресс-коррозия начинает превращаться в серьезную проблему.

На сегодняшний день практика эксплуатации подземных трубопроводов свидетельствует о том, что основная причина отказов на линейной части связана с коррозионными разрушениями. Действительно, в настоящее время до 60% отказов на линейной части связано с коррозионными повреждениями. Статистика аварийности показывает, что по мере старения трубопроводного парка страны, более половины коррозионных отказов на магистральных трубопроводах связано со стресс-коррозионными разрушениями.

К сожалению, до сих пор нет единой общепризнанной теории стресс-коррозионного разрушения трубопроводов. Практически нет современных средств прямой диагностики стресс-коррозии.

Долгое время в России проявления этого вида коррозии трубопроводов не фиксировались. Газнадзором РФ до 1992 года зарегистрировано 43 аварии по этой причине. Однако можно предположить, что их было значительно больше, так как причины аварий первоначально связывали либо с качеством металла, либо с технологией сварочных и строительно-монтажных работ.

В нашей стране бороться со стресс-коррозией начали в 1983 году. Именно с этого времени начали вести учет отказов трубопроводов по этой причине. Характерным признаком разрушения трубопровода по причине стресс-коррозии является отсутствие явных следов коррозии поверхности труб вместе с трещинами различных форм и видов. [1]

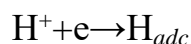
Необходимыми условиями для развития стресс-коррозии являются следующие:

1. отслоение изоляционного покрытия и доступ к поверхности трубы почвенного электролита;
2. наличие растягивающих напряжений.

В связи с развитой сетью трубопроводов в России и значительными сроками их эксплуатации вызывает беспокойство возрастающая аварийность на трубопроводах по причине стресс-коррозии. Так, до 1990 года доля отказов газопроводов России из-за коррозионного растрескивания под напряжением и связанных с ними потерь газа не превышали 10% от общего числа. [3]

Одна из наиболее распространенных гипотез возникновения коррозионного растрескивания сталей утверждает, что стресс-коррозия вызывается насыщением металла водородом, поступающим от внешних источников и создающим в местах дефектов кристаллической решетки повышенное давление и охрупчивание.

Потенциальными источниками водорода служат различные химические соединения, такие как: сероводородсодержащий газ, вода, карбонатные и нитратные соединения, сульфатредуцирующие бактерии и т. д., которые разлагаются с выделением свободных ионов водорода под влиянием внешнего электрического поля катодной защиты. Ионы водорода на катодно-защищенной поверхности трубопровода под действием тока катодной защиты восстанавливаются до атомов:



Железо образует с атомами водорода, которые адсорбировались на катодно-защищаемой поверхности, твердый раствор внедрения. Водород, поглощенный ионной трубкой, превращается в положительно заряженную частицу — протон, а его электрон входит в состав электронного газа.

Размер кристаллической решетки равен 0,00000008 см, а протон имеет размер 0,0000000000013 см, что в 10000 раз меньше. [5]

Атомы водорода в дефектах кристаллической решетки рекомбинируют в молекулы, размер которых превышает параметр кристаллической решетки. Таким образом, дефекты решетки являются для водорода «ловушками». Перемещение водорода продолжается до тех пор, пока ион не встретит какое-либо нарушение объемно-центрированной формы кристаллической решетки стенки трубы, например, микропоры или микротрещины, дислокации, неметаллические включения и тому подобное. Такие места становятся ловушками водорода, где он адсорбируется одним из атомов железа и прекращает свою дальнейшую трансляцию. При реализации вероятности попадания в эту же ловушку еще одного иона происходит реакция каталитической рекомбинации с образованием молекулы водорода. Резкое увеличение объема посторонних включений вызывает рост внутреннего давления до 100—200 МПа, что приводит к появлению локального внутреннего напряжения и образованию локальной трещины. В дальнейшем такая схема может циклически неоднократно повторяться, способствуя

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

подрастанию образовавшейся трещины. Колонии таких трещин с течением времени приводят к стресс-коррозионному разрушению трубопровода.

Стимулятором образования стресс-коррозионных трещин является в том числе и неправильно выбранный режим катодной защиты. Действительно, в режиме перезащиты на внешней катодно-защищаемой поверхности трубопровода протекает катодное разложение воды с образованием водорода. Водород, который выделяется при реакции, частично молизуется и уходит в коррозионную среду. Оставшаяся часть водорода адсорбируется на поверхности металла и некоторое время пребывает на ней в атомарном состоянии. Какое-то количество водорода за это время успевает проникнуть (диффундировать) в металл и в нем раствориться, или равномерно напрягая структуру, или неравномерно, образовав блистеры — местные скопления.

Стресс-коррозия очень опасна для сооружений, которые находятся под нагрузкой (например, трубопроводы или емкости высокого давления). Образующийся на внешней поверхности в процессе электрохимических реакций атомарный водород, даже при температуре транспортируемого по трубопроводу продукта, легко проникает в стенку трубопровода. Атом водорода, поглощенный стенкой трубы, превращается в протон, а его электрон переходит в состав свободных электронов кристаллической решетки.

В дефектных местах кристаллической решетки протон, окруженный электронным газом, превращается в молекулу водорода. Оказавшись внутри стенки трубопровода, молекулы водорода не могут диффундировать далее. Поэтому они собираются в микротрещинах и расслоениях стенки трубы. Когда давление водорода превысит предел прочности трубной стали, в стенке трубы образуются блистеры, которые в условиях упругодеформированного состояния стенки трубы приводят к стресс-коррозионному разрушению трубопровода. На рис. 1.4 показана стресс-коррозионная трещина со стороны катодно-защищаемой поверхности трубопровода.

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

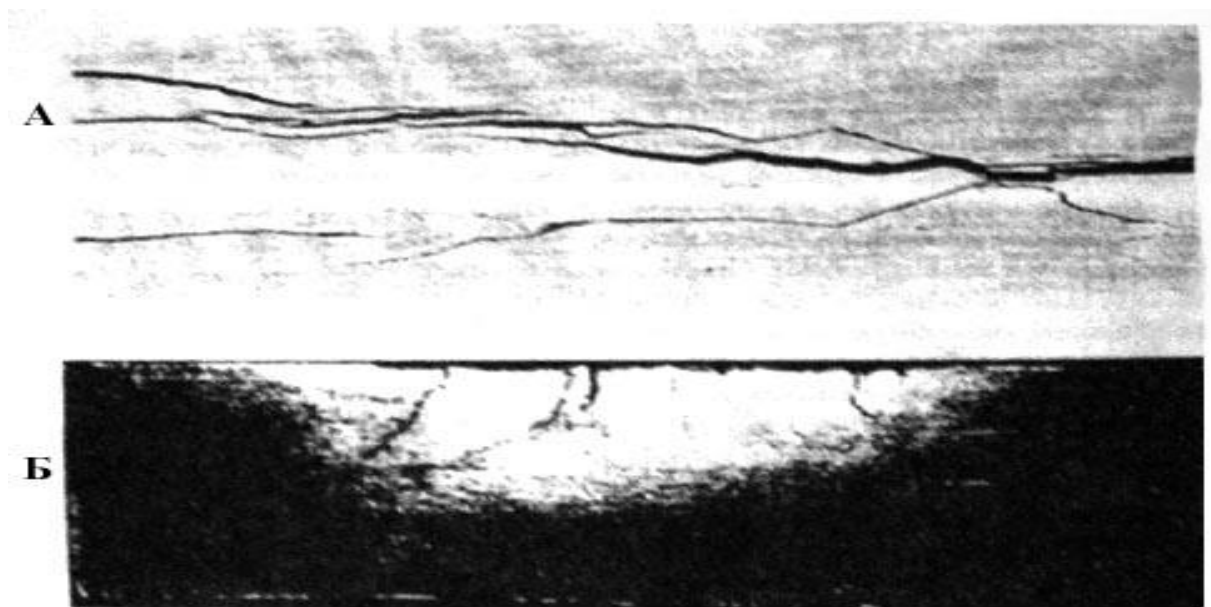


Рис. 1.4 – Стенка трубопровода, которая подвержена стресс-коррозии со стороны катодно-защищаемой поверхности

Примечание: А—вид в плане; Б — вид в профиль

Ступенчатый характер стресс-коррозионных трещин в стенке трубы обусловлен беспорядочным расположением водородных «ловушек», расположенных не по прямой и последовательным разрушением перемычек между ними по мере роста давления водорода в «ловушках» стенки трубы.

[5]

## 1.2. Способы защиты от коррозии

Срок службы конструкций трубопроводного транспорта нефти и газа часто относительно короткий. Для того чтобы продлить срок эксплуатации металлических конструкций, существуют четыре основных способа, которые очень широко используются в нефтегазовой отрасли:

1. Изоляция сооружения от внешней среды;
2. Использование сталей, стойких к коррозии;
3. Снижение агрессивности среды, путем воздействия на нее;
4. Применение электрохимической защиты подземных стальных конструкций. [4]

Первые три способа носят название пассивной защиты. Пассивными методами борьбы с коррозией являются различные защитные покрытия, изолирующие поверхность трубопровода от агрессивной окружающей среды, а также применение ингибиторов. Методы защиты металлических конструкций от коррозии внешних поверхностей основываются на направленном воздействии, которое приводит к частичному снижению факторов, способствующих развитию коррозии.

Они делятся на методы воздействия на металл, окружающую среду и комбинированные. К методам воздействия на металл относятся легирование, нанесение консервационных покрытий и покрытий постоянного действия. К методам воздействия на окружающую среду относятся частичная или полная герметизация, осушка воздуха, очистка окружающей атмосферы, поддержание определенной атмосферы и др. Если желаемого эффекта добиться не удалось, то используют комбинированные методы, которые основываются на комплексном воздействии на окружающую среду и металл.

Самым эффективным и распространенным пассивным методом защиты от коррозии является использование защитных лакокрасочных покрытий.

Лакокрасочные покрытия (ЛКП) — это органические покрытия, представляющие собой твердую пленку органических веществ

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

с наполнителями и пигментами, которая получается при их высыхании. Свойства лакокрасочных покрытий зависят от плотности и сплошности пленок и от характера взаимодействия поверхности металла с покрытием. Толщина таких покрытий может варьироваться от нескольких десятков до нескольких сотен мкм. Это зависит от их назначения.

Достоинства ЛКП:

1. Низкая стоимость;
2. Малый расход на единицу площади;
3. Покрытия легко поддаются ремонту и восстановлению в процессе эксплуатации;
4. ЛКП можно применять для защиты любых конструкций. [9]

Также к пассивным методам защиты можно отнести нанесение на малостойкий к коррозии металл (например, углеродистая сталь) тонкого слоя другого металла, более стойкого к коррозии, например, цинкование, хромирование, никелирование и т. д. Металлические покрытия обладают высокой стойкостью к воде, воздуху и нефтепродуктам.

Технология нанесения данных покрытий. Металл в виде мелких расплавленных частиц вылетает из сопла аппарата со скоростью, превышающей скорость звука. Благодаря высокой скорости соударение частиц металла с поверхностью происходит с очень большой силой. При ударе частица напыляемого металла отвердевает, и одновременно происходит диффузионное проникновение частицы в стенку трубы. Благодаря этому достигается высокая адгезия по отношению к стенке трубы. Следующие слои из-за высокой кинетической энергии частиц ложатся на ранее напыленный металл. Толщина покрытия обычно не превышает 250 мкм и зависит от необходимого срока антикоррозионной защиты и от назначения покрытия.

Приведем некоторые технические характеристики системы по металлизации покрытия:

1. Расход топлива не превышает 2.3 л на 1 м<sup>2</sup>;

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. Производительность по металлизации до 20 м<sup>2</sup>/ч;
3. Производительность по подготовке поверхности до 25 м<sup>2</sup>/ч;
4. Давление сжатого воздуха — 0.9 МПа.

Достоинства металлического напыления:

1. Длительный срок службы покрытия;
2. Высокая технологичность процесса;
3. Возможность проведения работы в зимнее время года.

В наши дни все чаще используются комбинированные покрытия, представляющие собой смесь металлического слоя и полимерного.

Длительность и надежность защиты стали комбинированным покрытием обусловлены тем, что первый слой (металл) имеет отрицательный электродный потенциал по отношению к стали, а шероховатость и пористость металлического слоя способствуют лучшей адгезии по отношению к ЛКП.

Преимущества металлического напыления по сравнению с ЛКП:

1. Простота процесса нанесения на профильную и листовую сталь;
2. Возможно получить покрытие любой толщины;
3. Увеличение срока службы покрытия, благодаря чему увеличивается срок службы деталей и снижается стоимость покрытия;
4. Если верхний лакокрасочный слой повредится, то функцию изолирующего покрытия будет выполнять металлический напыленный слой;
5. Если повредятся оба слоя, и металлическое, и лакокрасочное покрытие, то металлическое напыление начнет выполнять функцию катодной защиты, защищая тем самым основной металл от коррозионного разрушения. В случае небольших дефектов металлический слой восстанавливается сам.

Металлизационное напыление должно проводиться на хорошо подготовленной поверхности: обезжиренной, обеспыленной, очищенной от загрязнений. Также необходимо обеспечить шероховатость (не более 25 мкм)

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



поверхности для того, чтобы возросла сцепляемость с металлическим слоем. Шероховатость достигается с помощью обработки поверхности металлическим песком.

Для нанесения металлического слоя применяются специальные аппараты — металлизаторы. Они в зависимости от способа плавления металла бывают электродуговые и газопламенные. [10]

Второй способ пассивной защиты предусматривает добавление в сталь компонентов, улучшающих антикоррозионные свойства или удаление примесей, которые ускоряют коррозионные процессы. Этот способ применяется на стадии выплавки стали, или при механической обработке или термообработке стальных конструкций.

Благодаря этому способу было получено большое количество коррозионно-стойких сплавов, например, нержавеющая сталь, легированная никелем и хромом. Однако, у данного метода есть существенный недостаток — дороговизна, которая и сдерживает широкое внедрение этого способа. К этому методу также относится использование неметаллов, которые обладают высокой стойкостью к коррозии (например, керамики, бетона, пластмассы и др.).

Третий способ пассивной защиты — дезактивационная обработка среды путем введения ингибиторов. Ингибиторы — это вещества, которые значительно замедляют коррозионные процессы при добавлении их в среду в очень малом количестве. Действие ингибиторов заключается в адсорбции на поверхности металла ионов или молекул ингибиторов, которые тормозят коррозию.

Также к этому способу относится удаление агрессивных компонентов из коррозионной среды (например, осушка воздуха, очистка его от примесей или деаэрация водных растворов) и обработка ядохимикатами, что позволяет снизить интенсивность деятельности различных микроорганизмов, что в свою очередь уменьшает угрозу биокоррозии металла.

Борьба с подземной коррозией осуществляется посредством обработки агрессивного грунта с целью обеспечения его гидрофобизации, нейтрализации щелочами или кислотами и частичная замена на менее агрессивный грунт или специальную засыпку.

Четвертый способ подразумевает использование активной защиты. Он осуществляется следующими методами:

1. Постоянная катодная поляризация стального сооружения, которая осуществляется от внешнего источника электроэнергии, называется катодной защитой. Такая поляризация, осуществляемая от внешнего источника электрической энергии, называется катодной защитой. Это достаточно дешевый и эффективный метод защиты от коррозии. Суть метода: в систему искусственно включается источник тока, тем самым, подземная стальная конструкция становится катодом. Это приводит к значительному снижению скорости коррозии до 0,01 мм/год;
2. Катодная поляризация, вызванная электрическим контактом сооружения с металлом, который обладает более отрицательным потенциалом, например, стальное сооружение с отливками из сплавов магния. Магний, как более электроотрицательный металл, становится анодом и подвергается разрушению. Этот метод носит название метода протекторной защиты, а металл, который подвергается разрушению, — протектором.

Борьба с блуждающими токами осуществляются в основном по двум направлениям: их предупреждение или уменьшение возможности возникновения на источнике тока и проведение специальных работ на защищаемом подземном сооружении по их отводу. Мероприятия первого направления обязательные, они включают защиту подземных сооружений: использование изолирующих современных покрытий, устройство электрических экранов, установка изолирующих фланцев (соединений) на

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

трубопроводах, укладка трубопроводов в подземных коллекторах и каналах, электродренажная защита, катодная поляризация и др. [3, 12, 13]

					<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

## 1.3. Антикоррозионные покрытия

### 1.3.1. Назначение изоляционных покрытий

Антикоррозионные изоляционные покрытия стальных сооружений предназначены для увеличения омического сопротивления коррозионной цепи и уменьшения токов коррозии, то есть коррозионного разрушения металла. Для подземных металлических сооружений изоляционное покрытие отделяет поверхность сооружения от почвенного электролита, что предотвращает почвенную коррозию.

Надземные металлические сооружения изоляционное покрытие отделяет поверхность металла от влаги и кислорода воздуха. Это предотвращает электрохимическую и химическую коррозию, а также увеличивает поляризационное сопротивление катода (металлического сооружения), и снижается сила защитного тока. Следовательно, уменьшаются энергозатраты при защите сооружения внешним наложенным током и возрастает эффективность электрохимической защиты.

Изоляционные покрытия должны обладать следующими свойствами:

1. Хорошая адгезия к металлу (прилипаемость). Адгезия предотвращает отслаивание изоляционного покрытия при местном разрушении его сплошности и исключает попадание электролита под изоляцию;
2. Водонепроницаемость. Водонепроницаемость исключает вероятность насыщения пор покрытия влагой, содержащейся в почве, тем самым препятствуя контакту поверхности защищаемой стали с электролитом;
3. Сплошность покрытия. Сплошность обеспечивает надежность покрытия, потому что даже мельчайшая пора в покрытии может привести к протеканию коррозионных процессов;
4. Химическая стойкость. Данное свойство обеспечивает длительную работу изоляционного покрытия в агрессивных средах;

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

5. Электрохимическая нейтральность. Отдельные компоненты покрытия не должны участвовать в катодном процессе, иначе это приводит к разрушению покрытия;
6. Механическая прочность. Покрытие должно быть достаточно прочным для проведения изоляционных и укладочных работ при сооружении объекта и выдерживать эксплуатационные нагрузки;
7. Термостойкость. Этот параметр важен при изоляции горячих объектах;
8. Диэлектрические свойства. Они определяют электросопротивление, предотвращают возникновение коррозии между электролитом и металлом и обуславливают экономический эффект от применения ЭХЗ;
9. Отсутствие коррозионного и химического воздействия на защищаемую конструкцию;
10. Возможностью механизации процесса нанесения изоляции в полевых и базовых условиях;
11. Недефицитность. Широкое применение находят материалы, имеющиеся в достаточном количестве;
12. Экономичность. Цена изоляционного покрытия должна быть достаточно ниже, чем стоимость защищаемой конструкции.

Ни один искусственный или естественный материал не отвечает всем этим требованиям, поэтому используются изоляционные материалы, которые отвечают наиболее характерным для заданных условий требованиям. Для изоляции металлических конструкций нашли широкое применение битумные мастики, полимерные материалы, а также эмали, краски, лаки.

Согласно ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии», для защиты трубопроводов от коррозии применяют два типа изоляции: нормальный и усиленный. Усиленный тип следует применять на трубопроводах диаметром 820 мм

					<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

и более независимо от условий прокладки, а также на всех трубопроводах любого диаметра прокладываемых:

- 1) в засоленных грунтах;
- 2) в болотистых, заболоченных и поливных почвах;
- 3) на подводных переходах и в поймах рек;
- 4) на пересечениях с другими трубопроводами, силовыми кабелями, кабелями связи по 20 м в обе стороны от места пересечения;
- 5) на переходах через автомобильные и железные дороги, в том числе на защитных футлярах и участках трубопроводов, примыкающих к ним в пределах расстояний, устанавливаемых при проектировании;
- 6) на участках трубопроводов с температурой транспортируемого продукта более 40°C;
- 7) на участках блуждающих токов;
- 8) на участках трубопроводов, прокладываемых на расстоянии менее 1000 м от рек, озер, водохранилищ, а также границ населенных пунктов и промышленных предприятий. [8]

Во всех остальных случаях применяют защитные покрытия нормального типа.

Согласно ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии», для изоляции трубопроводов рекомендовано 22 конструкции защитных покрытий, из них: 19 — усиленного типа и 3 — нормального.[8]

С 2001 года изоляция трубопроводов полимерными лентами прекращена. Используются только комбинированные покрытия:

- 1) комбинированные на основе мастики и полимерной ленты;
- 2) комбинированные на основе битумно-полимерной мастики и термоусаживающейся ленты;
- 3) ленточные полимерно-битумные;
- 4) полиуретановые и полиуретаново-эпоксидные;

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- 5) экструдированные полиэтиленовые, наносимые на трубу в заводских условиях.

Все изоляционные покрытия наносятся на грунтовки. В зависимости от вида изоляционного покрытия используют различные виды грунтовок. Грунтовка наносится на очищенную поверхность трубы для того, чтобы обеспечить лучшее сцепление (адгезию) между изоляционным покрытием и стенкой трубы.

При нанесении битумно-полимерных мастик используют битумно-полимерные грунтовки заводского изготовления, а также грунтовки полевого изготовления, получаемые путем растворения трех частей мастики в одной части бензина (по объему). Грунтовки (праймеры) заводского изготовления «Транскор», «Битэп», ГПБ-1, ПЛ-М, «Биом-2» представляют собой каучуко-смоляную наполненную композицию, растворенную в органических растворителях. Эти грунтовки обладают высокой стойкостью к катодному отслаиванию и высокими адгезионными свойствами.

В изоляционных покрытиях применяют битумные мастики, которые в зависимости от природы наполнителя делятся на битумно-резиновые, битумно-полимерные и битумно-минеральные. Независимо от вида битумные мастики рекомендуется применять для изоляции стальных подземных трубопроводов диаметром не более 820 мм с температурой транспортируемого продукта не выше 40°C.

Основные характеристики битумов и битумных мастик определяют стандартные испытания. С их помощью можно найти следующие характеристики:

- 1) Температуру размягчения. Условие испытания: стальной шарик диаметром 9,35 мм продавливается через испытываемую среду (битум, мастику), залитую в латунное кольцо диаметром 15,7 мм и высотой 6,35 мм при расстоянии от нижней поверхности кольца со средой до базы прибора 25,4 мм;

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

- 2) Глубину проникновения (пенетрацию) иглы (в десятых долях миллиметра), определяющую твердость битума или мастики и отвечающую глубине погружения в испытываемую среду специальной стальной иглы диаметром 1,01 мм, длиной 50,8 мм за 5 с при нагрузке 981 Н и температуре 25°С;
- 3) Растяжимость (дуктильность). Условие испытания: растягиваются пробы испытываемой мастики или битума, залитой в специальную форму (температура испытания 25°С, скорость растяжения 5 см/мин).

Конструкция битумных покрытий. Сначала идет слой грунтовки, который получается при нанесении на трубу раствора битума в бензине. Грунтовка заполняет все микронеровности на поверхности трубы и обеспечивает более полный контакт и лучшую адгезию между поверхностью трубы и изоляционным слоем — битумной мастикой.

Битумные мастики представляют собой смесь тугоплавкого битума (изоляционного — БНИ-IV-3, БНИ-IV, БНИ-V; строительного — БН-70/30, БН-90/10), наполнителей (минеральных: асбеста, доломита, известняка, талька; органических: резиновой крошки; полимерных: полипропилена, низкомолекулярного полиэтилена, полидиена) и пластификаторов (полиизобутилена, полидиена, масел соевых, масла зеленого, автола). Битумную мастику наносят на трубу при температуре 160—180°С. Расплавляя холодную грунтовку, мастика проникает во все микронеровности поверхности металла, обеспечивая хорошую адгезию изоляционного покрытия.

В настоящее время для наружной изоляции трубопроводов применяют мастики «Транскор», «Битэп», «Биом-2» и др.

Изоляционные покрытия на основе битумных мастик обычно применяют при температуре транспортируемого продукта не более 40°С.

На участках со сложными почвенно-климатическими условиями, особенно на подводных переходах, где трубы нередко укладывают методом

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



протаскивания, к изоляционным покрытиям предъявляют особо высокие требования:

- 1) значительная механическая прочность;
- 2) низкая степень истираемости;
- 3) высокая адгезия к металлу;
- 4) химическая стойкость;
- 5) долговечность.

В этих условиях более эффективным выглядят антикоррозионные покрытия из полиуретанов. Данный материал обладает высокими изолирующими свойствами, твердостью, эластичностью, высоким сопротивлением к истиранию, царапанию и биоповреждениям. Кроме того, такие покрытия стойки к воде, растворам солей и обладают хорошей адгезией к стали.

Оберточные материалы в битумной изоляции служат для защиты от механических повреждений. Кроме того, они защищают мастику от оплывания, которое может возникнуть в летнее время от длительного воздействия солнечной радиации на изолированный трубопровод до того, как он будет уложен в траншею и засыпан грунтом.

Наиболее широкое применение в практике трубопроводного строительства имеет рулонный оберточный материал «ПЭКОМ-ОБ», иногда применяют поливинилхлоридную (ПВХ) ленту толщиной 0,5—0,7 мм. «ПЭКОМ-ОБ» изготавливают из высоконаполненной смеси полиэтилена, стабилизатора, битума (не более 10%), модификатора, синтетического каучука (не более 5%) и наполнителя. Его прочность на разрыв составляет 10,5 МПа, водопоглощение за 24 ч — не более 0,1% (по массе).

Поливинилхлоридный оберточный материал представляет собой пленку из утильных отходов производства изоляционной поливинилхлоридной ленты с добавлением различных наполнителей. Обертки ПВХ изготавливают толщиной 0,7 мм, шириной 500 мм, длиной в рулоне 125 м. Прочность обертки ПВХ на разрыв составляет не менее 8 МПа.

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Существенным недостатком обычных оберток является образование на них гофр в процессе нанесения и при длительной эксплуатации трубопроводов, что снижает защитные свойства изоляционного покрытия.

Исключить этот недостаток можно путем применения термоусаживающихся лент ДРЛ-Л, «Терма», «Политерм», которые после их нанесения на нагретую до температуры 185°C мастику термоусаживаются в продольном направлении до 30%, что исключает образование гофр и отвисов при их нанесении на трубу.

Опыт использования полимерных лент показал, что они очень технологичны: просты в нанесении и удобны в механизации работ. Но, по сравнению с битумной изоляцией, полимерные ленты легко уязвимы так как любые острые выступы на поверхности металла или острые камни прокалывают пленочную изоляцию, нарушая сплошность. Во избежание этого лучше использовать покрытия на основе битумных мастик, проколоть которые сложно.

С течением времени битумные мастики «стареют»: теряют эластичность, становятся хрупкими, отслаиваются от трубопроводов. В связи с этим, в настоящее время разработаны и широко применяются комбинированные изоляционные покрытия, лишенные указанных недостатков.

Комбинированная конструкция изоляции складывается из битумного и пленочного покрытий: на слой грунтовки наносится битумная мастика толщиной 3—4 мм, которая сразу же (по нагретой до температуры 185°C) обматывается термоусаживающейся лентой. Размер нахлеста регулируется в пределах 3—6 см, при этом часть мастики выдавливается под нахлест, что обеспечивает герметизацию этих мест.

Изоляционно-укладочные работы в зимнее время проводятся, как правило, с применением полимерно-битумных лент ЛИАМ(лента изоляционная асмольно-модифицированная), ЛИТКОР(с подклеивающим слоем на основе мастики «Транскор»), ЛИТКОР-НК, ЛИТЭП (с подклеивающим слоем на основе мастики «Битэп»), БИЛАР

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



### 1.3.2. Контроль качества изоляционных покрытий

Контроль качества изоляционных покрытий осуществляется по отдельным операциям в процессе работы.

Контрольный пост лаборатории строительной организации проверяет качество приготовляемой на трассе изоляционной мастики. При этом контролируются следующие характеристики: правильность технологического процесса разогревания битумных материалов, дозировка компонентов, введение в состав мастики наполнителей и пластификаторов, соответствие требованиям ГОСТа и СНиП физико-механических свойств исходных материалов и мастик. Контроль проводится не реже одного раза в день, при этом отбирают контрольную пробу мастики с целью определения температуры размягчения по КиШ. Периодически проверяют растяжимость и пенетрацию, но уже по требованию заказчика.

Качество очистки, грунтовки и изоляции труб проверяет служба технического надзора. В полевых условиях, кроме работников строительномонтажной организации и службы технадзора, контролирует служба эксплуатации трубопровода.

Внешним осмотром проверяется качество очистки трубопровода, нанесения грунтовки, качество нанесенного изоляционного покрытия (по мере его наложения). Выявляются следующие дефекты: трещины, бугры, вздутия, впадины, расслоения.

Трещины и пузыри в покрытии обычно появляются из-за нарушения техники приготовления и нанесения изоляционного покрытия или его перегревом. Аналогичный дефект может быть вызван попаданием в покрытие пены, образующейся на поверхности расплавленного битума. Крупные и равномерно распределенные пузыри появляются при наличии на поверхности трубы влаги, мелкие же пузыри возникают в случае нанесения мастики на невысохшую грунтовку. При нагреве изолированного

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

трубопровода солнечными лучами (до 40—50°C) на поверхности изоляции образуются неглубокие, как правило, продольные трещины.[2]

Установленные дефекты должны быть исправлены методами, которые обеспечат монолитность и однородность покрытия. Однако наносить новый слой покрытия поверх оберточного покрытия запрещается.

После исправления дефектов ремонтируемые места должны пройти контроль снова. Далее готовый трубопровод укладывают в траншею, засыпают грунтом на 0,3—0,5 м и снова проверяют на наличие сквозных дефектов, образовавшихся при засыпке трубопровода грунтом.

Толщину слоя защитного покрытия определяют через каждые 100 м труб с помощью ультразвуковых толщиномеров в процессе выполнения изоляционных работ. При этом проверка должна осуществляться не менее чем в четырех точках по окружности трубы или емкости и на каждой фасонной части. Кроме этого, толщину слоя измеряют во всех местах, вызывающих сомнение, а также выборочно по требованию заказчика.

Сплошность покрытия контролируют искровым дефектоскопом. Для мастичных покрытий напряжение на щупе дефектоскопа устанавливают из расчета 5 кВ на 1 мм толщины покрытия с учетом обертки. Качество защитного покрытия из липких лент при приемосдаточных испытаниях проверяют через каждые 500 м, а также выборочно по требованию заказчика.

Сцепление покрытия из мастик с поверхностью защищаемого объекта контролируют адгезиметром или вручную надрезом защитного покрытия под углом 45—50°C отрывом вершины угла надреза. Покрытие считается хорошо прилипшим к трубе, если оно отрывается отдельными кусочками и частично остается на трубе. Сопротивление покрытия отрыву, определяемое адгезиметром при температуре окружающего воздуха 25°C, должно быть не менее 35 Н/см. Адгезию на трубах проверяют через каждые 100 м и выборочно по требованию заказчика.

При нанесении некоторых защитных лакокрасочных покрытий одной из важнейших операций является тщательная подготовка покрываемой

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

поверхности. Даже абсолютно правильные выбранные составы лакокрасочных покрытий не смогут выполнить свою задачу, если их наносить на плохо подготовленную поверхность.

Каждому виду защитных покрытий и каждому методу их нанесения сопутствует специфическая подготовка поверхности. Только в этом случае смогут проявиться достоинства использованного способа защиты стальной конструкции.

Подготовка поверхности включает в себя очистку (удаление жира, грязи, ржавчины, окалины), удаление заусенцев и неровностей, придание поверхности требуемой степени чистоты. [3]

					Основные сведения о коррозии стальных сооружений	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

#### 1.4. Станции катодной защиты.

Станции катодной защиты (СКЗ) необходимы для того, чтобы обеспечивать катодную защиту различных подземных металлических конструкций (стальных трубопроводов, резервуаров и т. д.) от электрохимической коррозии. СКЗ преобразуют переменное напряжение в плавно регулируемое постоянное. Также станции катодной защиты могут быть использованы для того, чтобы поддерживать определенное значение защитного тока на подземной конструкции.

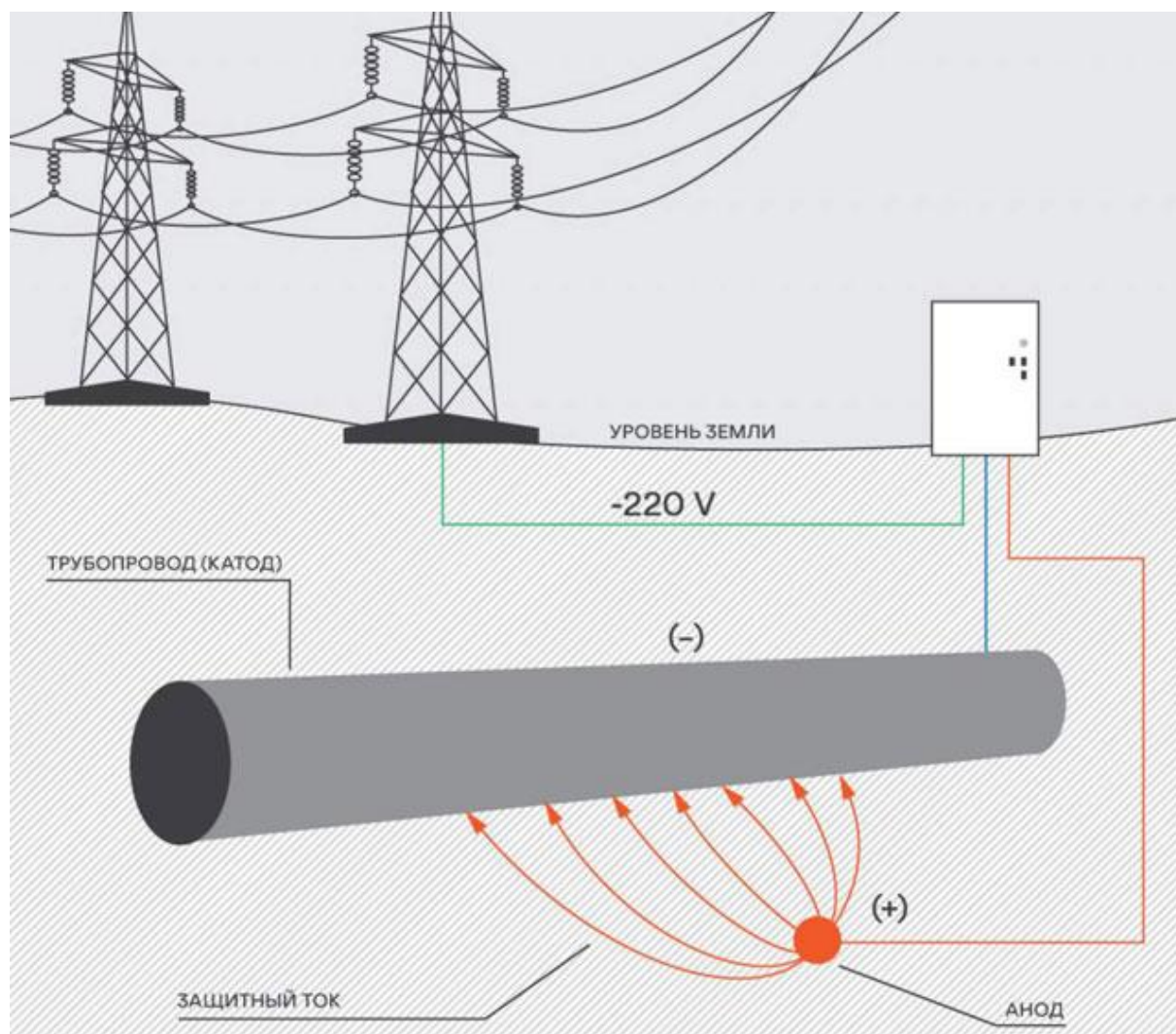


Рис. 1.5 – Станция катодной защиты

СКЗ включает:

1. Анод (заземление);
2. Катод (трубопровод);

3. Генератор постоянного тока;
4. Пункт контроля, измерений и управления процессом;
5. Соединительные приспособления (провода и кабели).

СКЗ достаточно эффективно выполняют свою функцию, защищая сразу несколько участков трубопровода при подключении к линии электропередач или к независимому генератору. Изменять параметры тока можно как автоматически, если в цепи имеются тиристоры, так и вручную, заменяя обмотки трансформатора.

Питается станция катодной защиты от сети переменного напряжения 220 В и частотой 50 Гц. Номинальная выходная равна 600 Вт и 1,2 кВт.

К работам по монтажу и эксплуатации СКЗ допускаются лица, имеющие необходимую квалификацию и обучение правилам безопасности.

Категорически воспрещается:

1. Подключать СКЗ без предварительной проверки и осмотра всех ее составных элементов на предмет неисправностей;
2. Проводить проверку или ремонт во время грозы;
3. Подавать на СКЗ напряжение, отличное от номинального;
4. Использовать преобразователи без заземления;
5. Допускать необученный персонал к использованию станции катодной защиты;
6. Ремонтировать СКЗ без снятия напряжения.

Алгоритм работы с СКЗ:

1. В первую очередь необходимо проверить электрические цепи на предмет неисправностей;
2. Проверить правильность подключения клемм: к трубопроводу (объекту, который необходимо защитить) — «-», к заземлению — «+»;
3. Проверить плотность контактов всех разъемных электрических соединений, особенно силовых;

					<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



4. Опробовать работу СКЗ: к выходным клеммам подключить омическое регулируемое сопротивление и допустимый длительный ток, который выше или равен номинальному току регулятора;
5. Обеспечить подачу питающего напряжения на СКЗ и проверить регулирование тока и напряжение на приборах;
6. Отключить от выходных клемм омическое сопротивление и подключить к ним провода катодной защиты;
7. Установить сердечник резистора на наименьший защитный ток (в крайнее левое положение);
8. Включить СКЗ в работу и поворотом резистора тока установить величину защитного тока, согласно проекту.

Эффективность катодной защиты находится путем замеров потенциалов на контрольно-измерительных пунктах (КИП), которые находятся на трубопроводах. На территориях с усовершенствованным дорожным покрытием КИП следует выводить под ковер. Установка их на проезжей части не рекомендуется.

Разность потенциалов измеряют с помощью высокоомных вольтметров с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм на 1 В шкалы. Показания приборов рекомендуется отсчитывать через каждые 5—10 с в течение 10—15 мин. в каждом пункте измерения.

Существует несколько классификаций видов СКЗ, рассмотрим несколько из них. Прежде всего, станции делятся по принципу действия: инверторные и трансформаторные.

Инверторные СКЗ строятся на основе высокочастотных импульсных преобразователей. Достоинство перед трансформаторной станцией в том, что размеры силового трансформатора зависят от частоты преобразования обратно пропорционально: чем выше частота, тем меньше размеры трансформатора, а следовательно, меньше вес устройства, длина проводов обмоток, тепловые потери и т. д. А высокая частота сигнала позволяет

уменьшить индуктивность и емкость сглаживающих фильтров, уровень пульсаций на выходе устройства.

Трансформаторные станции состоят из низкочастотного (50 Гц) трансформатора и тиристорного выпрямителя. Однако у этих станций существует ряд недостатков, один из которых несинусоидальная форма тока, как на выходе, так и тока потребления от питающей сети, что приводит к низкому коэффициенту мощности и большому уровню пульсаций на выходе. Для улучшения этих параметров в схему устройства добавляют низкочастотный дроссель, который имеет тот же вес и размер, что и силовой трансформатор. При этом коэффициенты пульсаций и мощности у станций со сглаживающим дросселем остаются хуже, чем у инверторных.

Самые распространенные виды СКЗ по способу преобразования: симисторные, тиристорные и диодные.

Диодные СКЗ — одни из самых простых вариантов катодной защиты, однако они имеют очень большие габаритные размеры, что мешает при монтаже. Питание станции происходит от однофазного переменного напряжения, проходящего через следующие каналы: коммутационное устройство, понижающий трансформатор, переключатель рабочего напряжения, преобразователя энергии. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора поступает на диодный мост через переключатели грубого и точного регулирования, которые меняют напряжение, выходящее на нагрузку.

Станции катодной защиты с тиристорным преобразованием в отличие от диодной состоит в том, что здесь применяются тиристорно-диодные модули, преобразовывающие переменное напряжение, снимаемое с трансформатора в постоянное выходное напряжение. Модуль состоит последовательно соединенных диода и тиристора, которые располагаются в одном корпусе и не имеют электрического соединения с основанием. Регулирование тиристорных осуществляется отдельной платой управления, которая

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Основные сведения о коррозии стальных сооружений				

формирует напряжение для их запуска. И в отличие от диодной станции, этот тип преобразователя гораздо компактнее.

Модель станций катодной защиты с симисторным типом преобразования является одной из самых эффективных. Отличие от вышеперечисленных заключается только в управлении, которое осуществляется по первичной обмотке с помощью платы управления с узла регулятора. Плюсы этой схемы в том, что на силовой трансформатор нет прямой нагрузки, напряжение со вторичной обмотки поступает сразу на выпрямитель.

					<i>Основные сведения о коррозии стальных сооружений</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

## 2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ СООРУЖЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

### 2.1. Термодинамика электрохимической коррозии

Внутреннее строение сталей характеризуется кристаллической решеткой, в узлах которой находятся атомы железа либо легирующих компонентов (твердые растворы замещения) с ослабленными внутриатомными связями ядра с внешними валентными «свободными» электронами.

Возникновение электрического тока в стальных конструкциях обусловлено наличием свободных электронов. Стали имеют различную электропроводность (в основном, очень высокую), что объясняется различным кристаллическим строением и разным количеством свободных электронов, которые сосредоточены в узлах кристаллических решеток. При обычных условиях свободные электроны не могут выйти за пределы атома, но при затрате дополнительной энергии (нагревание, электрическое поле, освещение и т. п.) можно создать условия для их направленного движения.

Взаимодействие стального сооружения с водными растворами каких-либо солей приводит к их коррозионному разрушению. Для примера электрохимической коррозии стальных сооружений рассмотрим наиболее распространенный электролит — воду. Атомы кислорода и водорода, из которых состоит вода, образуют полярные молекулы, характеризующиеся наличием двух полюсов — положительного и отрицательного. Это и определяет наличие силового электрического поля молекулы воды.

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Осипов О.С.</i>						52	113
<i>Руковод.</i>	<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>	<i>Брусник О.В.</i>							

При соприкосновении с водой поверхностные атомы стального сооружения подвергаются воздействию силового поля молекул воды, которые из-за маленького размера, внедряются в кристаллическую решетку стали.

Это взаимодействие (гидратация), бывает таким сильным, что ослабленные связи в атомах железа со своими валентными электронами нарушаются, и атом железа покидает узел кристаллической решетки и переходит в раствор. Так образуется ион-атом железа, несущий положительный заряд. Перешедший в раствор ион-атом железа гидратируется, то есть окружается ориентированными вокруг него молекулами воды. Свободные электроны, которые остались у поверхности, являются носителями отрицательных зарядов.

У поверхности металла образуется двойной электрический слой (ДЭС), который характеризуется скачком (разностью) потенциалов между слоем раствора, прилегающего к металлу, и поверхностью металла. Скачок потенциалов возникает из-за перехода катионов из металла в электролит (рис. 2.1а) или из электролита в металл (рис. 2.1б) (электродный потенциал металла).

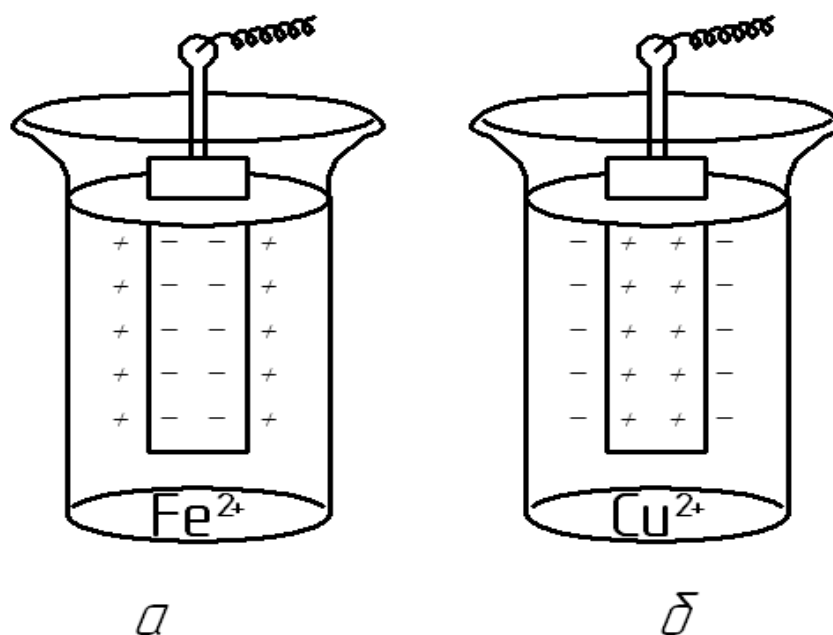


Рис. 2.1 – Двойной электрический слой на поверхности металла

Примечание: а — выход катионов из металла в электролит; б — вход катионов из электролита в металл

По мере погружения стального образца в воду ионы железа под действием полярных молекул воды его поверхностного слоя отрываются и переходят в жидкость.

В результате такого перехода стальной образец заряжается отрицательно, а жидкость—положительно. По мере перехода ионов железа в водную среду увеличивается положительный заряд раствора и отрицательный заряд стального образца, при этом чаще всего ионы железа притягиваются обратно в кристаллическую решетку стального образца. Накопление ионов железа в водном растворе начинает тормозить дальнейшее растворение металла. В результате устанавливается подвижное равновесие.

Если активные металлы(цинк, железо, кадмий, никель) взаимодействуют с полярными молекулами воды, то это взаимодействие оканчивается отрывом от поверхности положительных ионов металла и переходом гидратированных ионов в водный раствор. Этот процесс, когда ионы металла покидают кристаллическую решетку, оставляя там эквивалентное по заряду количество электронов, называется окислением.

С увеличением концентрации катионов у поверхности возможен обратный процесс, то есть восстанавливаются ионы металла, когда катионы, забирая обратно оставленные электроны, возвращаются в кристаллическую решетку. Таким образом, на границе металл — водный раствор образуется ДЭС между электрическими зарядами на металле, и противоионами, которые находятся в кристаллической решетке. В формировании ионной оболочки двойного слоя принимают участие как электростатические силы, под влиянием которых противоионы подходят к металлическому образцу, так и силы теплового (молекулярного) движения, в результате действия которых двойной слой приобретает размытое, диффузное строение. Возможна также избирательная адсорбция заряженных частиц одной фазы на поверхности

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

другой с образованием двойного электрического слоя в пределах одной фазы: адсорбция анионов, катионов электролита на поверхности металла (адсорбционный потенциал).

Когда достигается определенное значение разности потенциала, дальнейший переход ионов металла в раствор прекращается. Значение скачка потенциала в ДЭС определяет способность металлов отдавать свои ионы в электролит.

Под строением ДЭС понимают распределение зарядов в его ионной обкладке. Обычно ионную обкладку двойного слоя разделяют на две части: плотную (гельмгольцевскую), которая образована ионами, расположенных почти вплотную к металлу, и диффузную, которая создана ионами, находящимися на расстоянии от металла, превышающем радиус сольватированного иона. При этом толщина плотного слоя не превышает  $10^{-8}$  см, а толщина диффузной части составляет от  $10^{-3}$  см до  $10^{-7}$  см. Строение двойного электрического слоя определяется общей концентрацией водного раствора. С ее увеличением процессы, способствующие формированию диффузной части, ослабляются, размеры ее уменьшаются, двойной слой сжимается. В концентрированных растворах диффузная часть практически отсутствует и двойной электрический слой подобен плоскому конденсатору, что соответствует модели Гельмгольца, впервые предложившего теорию строения двойного слоя. Разность потенциалов, которая возникает на границе раздела раствор—поверхность металла, называется стационарным (электродным) потенциалом или, как часто его называют на практике, потенциалом коррозии или естественным потенциалом.

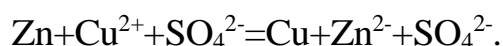
В результате растворения твердых веществ в электролите образуются частицы, несущие пространственно разделенные заряды. Заряженные частицы взаимодействуют, образуя нейтральные молекулы. В некоторый момент наступает динамическое равновесие между числом образующихся заряженных частиц и числом образующихся нейтральных молекул. Такое

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

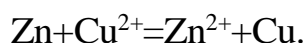
динамическое равновесие называется степенью диссоциации. Степень диссоциации — это отношение числа расщепленных молекул ко всему числу молекул, присутствующих в растворе.

При соприкосновении двух разных электропроводных сред, например, металл и электролит, на их границе возникает скачок (разность) потенциала.

Отрицательные и положительные ионы и электроны пересекают границу разделения фаз в неодинаковых количествах. Часто эту границу может пересечь носитель заряда только одного знака. Отсюда следует, что в одной фазе образуется избыток отрицательных зарядов, а в другой — избыток положительных, вследствие чего возникает скачок потенциала. Результат пространственного движения частиц вещества (носителей электрического заряда) во многих случаях можно наблюдать непосредственно в ходе простейших экспериментов. Рассмотрим следующий пример: если в раствор сернокислой меди погрузить цинковый стержень, то медь из раствора будет выпадать в осадок на цинке и постепенно окрашивать его поверхность в красный цвет, а цинк в виде ионов будет переходить в раствор. Сернокислая медь в водном растворе практически диссоциирована, поэтому такой химический процесс описывается уравнением:



Так как ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  в этой реакции остаются неизменными, уравнение можно записать в следующем виде:



Суть этого процесса заключается в том, что в растворе ионы меди, которые оказались вблизи поверхности цинкового стержня из-за теплового движения, отнимают от близлежащих поверхностных атомов цинка два электрона. Атом цинка превращается в ион и переходит с поверхности металла в раствор, в свою очередь ион меди становится



нейтральным атомом, который нерастворим в воде и поэтому осаждается на внешней поверхности цинка.

Материальный эффект электрохимического разрушения стального сооружения сосредоточен на анодных участках корродирующей поверхности.

Если привести стальное сооружение в контакт с водным раствором, содержащим ионы железа, то свободная энергия ионов железа в водном растворе, будет отличаться от свободной энергии ионов в кристаллической и поэтому, никакого равновесия не будет.

Если свободная энергия ионов железа в кристаллической решетке больше, чем в растворе, то ионы железа будут переходить из кристаллической решетки в водный раствор и образовывать положительную обкладку поверхности стального сооружения в двойном электрическом слое. Отрицательная обкладка этого двойного электрического слоя образуется оставшимися вблизи поверхности стального сооружения свободными электронами, ранее принадлежавшими ушедшим в раствор ионам железа. Силовое поле двойного электрического слоя, образующееся на границе раздела стальное сооружение (электролит), препятствует такому переходу, оно отталкивает ионы железа обратно, в направлении к кристаллической решетке.

Таким образом, когда ионы железа переходят из кристаллической решетки в раствор, они должны совершать работу против сил поля, создаваемого двойным электрическим слоем. Эта работа ( $A = -\Delta G$ ), энергия для которой черпается из разности свободных энергий, тем больше, чем больше разность потенциалов двойного электрического слоя  $\Delta E$ .

Протекание электрохимического коррозионного процесса возможно при условии  $\Delta E > 0$ , когда или  $U_{oa} < U_{ок}$ , то есть для разрушения металла необходимо присутствие окислителя — деполяризатора, окислительно-восстановительный потенциал которого положительнее обратимого потенциала самого металла в данном электролите.

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
						57
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Границы термодинамической возможности коррозионного процесса для каждого конкретного случая можно определить, строя диаграммы зависимости потенциалов анодного и катодного процессов от рН среды и активности ионов в растворе.

Переход ионов из металла в раствор, и наоборот, будет продолжаться до тех пор, пока разность потенциалов в двойном электрическом слое ( $\Delta E$ ) не достигнет значения, которое соответствует разности между свободными энергиями ионов металла в кристаллической решетке и в растворе. Этому состоянию соответствует равновесный электродный потенциал.

Если свободная энергия ионов металла в растворе больше, чем в кристаллической решетке, например, в медно-сульфатном электроде сравнения, при контакте меди с раствором сернокислой меди, то ионы меди выйдут из раствора, внедрятся в кристаллическую решетку медного стержня и образуют положительную обкладку двойного электрического слоя. Соответствующие ионы  $SO_4^{2-}$  «останутся» в слое раствора, непосредственно прилегающего к медному стержню, и образуют отрицательную обкладку двойного слоя. Ионы меди будут выходить из раствора и осаждаться на медном стержне до тех пор, пока работа  $A$ , производимая против сил поля двойного электрического слоя, будет точно соответствовать разности свободных энергий ионов меди в растворе и в кристаллической решетке медного стержня.

Таким образом, равновесный электродный потенциал зависит от свойств ионов и их концентрации в растворе. Зависимость потенциала электрода от концентрации потенциалопределяющих ионов в растворе электролита предложена В. Нернстом:

$$E_0 = E_c + (RT/zF) \ln C,$$

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

где  $E_0$ —равновесный (обратимый) потенциал металла (электрода), является разностью электрических потенциалов металла  $E_{me}$  и раствора  $E_p$ , то есть  $E_0 = E_{me} - E_p$ ;  $E_c$ —стандартный потенциал металла, обратимый потенциал металла при активности его ионов в растворе, равном единице;  $R = 8,314$  Дж моль\*К — газовая постоянная;  $T$  — абсолютная температура;  $C$ —концентрация активных ионов металла в растворе;  $z$ — валентность ионов, пересекающих границу сред;  $F = 96485,309$  Кл/моль — постоянная Фарадея.

При концентрации активных ионов металла  $C$ , равной 1 моль/л, потенциал электрода  $E$  равен стандартному потенциалу  $E_c$ , который может быть рассчитан по уравнению Нернста, на основе термодинамических данных.

[5]

					Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

## 2.2. Электродные потенциалы металлов в электролитах

Металл, погруженный в электролит, называется электродом. Наибольшая принципиальная трудность, связанная с использованием уравнения Нернста, обусловлена невозможностью измерить потенциал одного единственного электрода. Например, если попытаться определить путем измерения электродный потенциал  $Zn//Zn^{2+}$ , то есть разность потенциалов между металлическим цинком и раствором соли цинка, в который он погружен, необходимо металл и раствор соединить проводником с измерительным прибором.

Соединить прибор с металлом нетрудно, гораздо сложнее присоединить к прибору раствор. Это соединение можно осуществить только с помощью металлического проводника, который опускается в раствор. Но как только металл проводника (например, медь) приходит в соприкосновение с раствором, на его поверхности образуется двойной электрический слой и, следовательно, появляется разность потенциалов.

Итак, при помощи измерительного прибора можно определить разность потенциалов между двумя электродами (в данном случае разность потенциалов между цинковым и медным электродами). Поэтому при измерении электродных потенциалов металлов выбирают некоторый электрод сравнения, потенциал которого условно принят за нуль. Таким электродом сравнения служит стандартный водородный электрод. Он представляет собой платиновую пластину, покрытую тонко измельченной «платиновой чернью», погруженную на платиновой проволоке в стеклянный сосуд с нормальным раствором соляной кислоты (на 100 г воды 43,18 г соляной кислоты) и омываемую потоком водорода под давлением 0,1 МПа.

Платиновый электрод адсорбирует на своей поверхности водород, который образует вокруг платины водородный мешок. При насыщении платины водородом между кристаллической решеткой платины и ее поверхностью устанавливается равновесие:  $H_2 \leftrightarrow 2H$ , а на границе поверхности платинового электрода и раствора —  $2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2$ . Схематически водородный электрод

					Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

обозначают  $2\text{H}^+/\text{H}_2$ , Pt, здесь черта / обозначает поверхность раздела фаз. Электродный потенциал такого электрода зависит от концентрации ионов водорода в растворе и от давления водорода в газовой фазе. Платина здесь играет роль инертного проводника. Условно принято, что  $\phi$  водородного электрода равен нулю, а следовательно, и  $\Delta G$  реакции, протекающий на водородном электроде равен нулю. Следовательно,

$$E_{\text{H}_2}=0-(RT/2F)\ln(P_{\text{H}_2}/a_{\text{H}^+}^2),$$

где  $P_{\text{H}_2}$ — летучесть водорода,  $a_{\text{H}_2}$  — активность ионов водорода. Таким образом, значения электродных потенциалов всех металлов можно соотнести с потенциалом водородного электрода.

Если медный стержень, погруженный в раствор ее соли (медно-сульфатный электрод сравнения), соединить электролитическим ключом со стандартным водородным электродом, то получится гальванический элемент: (-) Pt,  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{SO}_4//\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  (+), электродвижущую силу (ЭДС) которого можно легко измерить. Эта ЭДС (при активности ионов меди в растворе, равной единице) будет величиной стандартного электродного потенциала при температуре измерения  $E_c=+0,34\text{В}$ . В этом гальваническом элементе протекает реакция:  $\text{Cu}^{2+}+\text{H}_2=\text{Cu}+2\text{H}^+$ , а по внешней цепи электроны будут двигаться от водородного электрода к медному.

Стандартные потенциалы электродов, посылающих электроны по внешней цепи к водородному электроду, имеют знак «-», а принимающих электроны от водородного электрода — знак «+». Располагая металлы в порядке возрастания их электродных потенциалов, получают электрохимический ряд напряжений металлов, или, точнее, ряд стандартных электродных потенциалов, численные значения которых приведены в табл. 2.1.

Электродные потенциалы расположены по возрастанию их величин, что соответствует уменьшению восстановительной и повышению окислительной активности соответствующих гальванических систем. Если составить электрохимическую цепь из двух электродов этого ряда, то на одном из них,

потенциал которого ниже по сравнению с другим, будет протекать процесс окисления, а на другом — процесс восстановления.

Табл. 2.1

### Стандартные электродные потенциалы металлов

Электрод	Потенциал, В	Электрод	Потенциал, В
Li <sup>+</sup> /Li	-3,02	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0,25
Rb <sup>+</sup> /Rb	-2,99	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0,14
K <sup>+</sup> /K	-2,92	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0,13
Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2,9	H/0,5H <sub>2</sub>	0,00
Sr <sup>2+</sup> /Sr	-2,89	Sb <sup>3+</sup> /Sb	+0,20
Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2,87	Bi <sup>3+</sup> /Bi	+0,23
Na <sup>+</sup> /Na	-2,71	Cu <sup>2+</sup> /Cu	+0,34
La <sup>3+</sup> /La	-2,37	Cu <sup>+</sup> /Cu	+0,52
Mg <sup>2+</sup> /Mg	-2,34	Hg <sup>2+</sup> /Hg	+0,79
Al <sup>3+</sup> /Al	-1,67	Ag <sup>+</sup> /Ag	+0,80
Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1,05	Pd <sup>2+</sup> /Pd	+0,83
Zn <sup>2+</sup> /Zn	0,76	Hg <sup>+</sup> /Hg	+0,86
Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0,71	Pt <sup>2+</sup> /Pt	+1,20
Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0,44	Au <sup>3+</sup> /Au	+1,42
Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0,40	Co <sup>2+</sup> /Co	-0,28

Электродные потенциалы металлов, погруженных в раствор собственной соли (например, Zn/ZnSO<sub>4</sub>, Na/NaCl и т. д.), носят название обратимых или равновесных потенциалов и вычисляются по формуле Нернста. Электродные потенциалы металлов, в определении которых участвуют не только собственные, но и ионы, и атомы других элементов, называются необратимыми, неравновесными, стационарными или потенциалами коррозии.

На рис. 2.2 изображена схема измерения электродного потенциала медного стержня в растворе CuSO<sub>4</sub>:

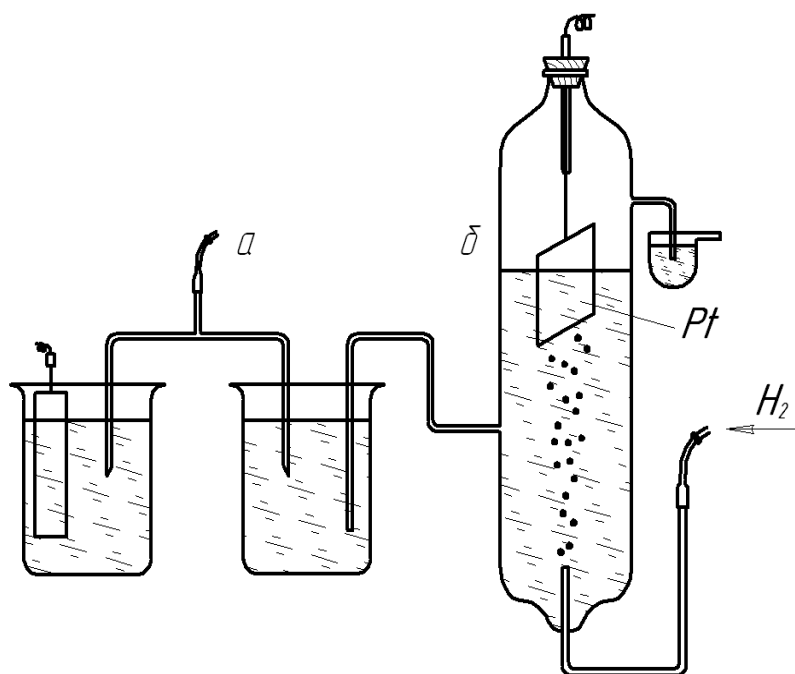


Рис.2.2 – Схема измерения электродного потенциала медного стержня в растворе  $\text{CuSO}_4$  относительно водородного электрода сравнения

Примечание: а — электролитический ключ; б — водородный электрод

Равновесный потенциал различных электродов, погруженных в раствор собственной соли, в котором активность (концентрация) ионов данного металла равна единице (1 моль/л), измеренный относительно нормального водородного электрода, называется нормальным, или стандартным потенциалом ( $E_c$ ). Для всех металлов они образуют так называемый электрохимический ряд напряжений (табл. 2.1) или стандартные электродные потенциалы элементов в водных растворах при температуре  $25^\circ\text{C}$ .

Значения стандартных электродных потенциалов позволяют предсказать, какой металл из выбранной пары будет разрушаться, то есть служить анодом, а также оценить степень опасности коррозионного процесса. Из табл. 2 следует, что влияние состава электролита (растворителя) на электродный потенциал металла значительно. Оно особенно велико, если на поверхности металлов образуются пленки, обладающие защитными свойствами.

Измеряемая ЭДС определяется электродными реакциями, протекающими на обоих электродах. Обычно при измерениях интерес

представляют лишь реакции, идущие на одном электроде, например, при катодной защите подземного стального трубопровода. Для подобных измерений используют электрод, имеющий относительно постоянное значение потенциала, независимо от среды, в которой он находится. Этот электрод называется электродом сравнения. Наибольшее распространение в практике электрохимических измерений в трубопроводном транспорте нефти и газа нашел насыщенный медно-сульфатный электрод. Этот электрод состоит из электролитически чистой меди, погруженной в перенасыщенный раствор сульфата меди.

Точность медно-сульфатного электрода сравнения (м. э. с.) достаточна для большинства коррозионных измерений. Из табл. 2.1 следует, что потенциалопределяющая реакция этого электрода сравнения выглядит следующим образом:  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Cu}$ . Потенциал этого электрода относительно водородного равен 0,34 В, температурный коэффициент —  $7 \cdot 10^{-4}$  В/К. [5]

					Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64



### 2.3. Кинетика электрохимической коррозии

Термодинамическая неустойчивость металлов является основной причиной электрохимической коррозии. Термодинамическая неустойчивость — это самопроизвольное растворение металла при взаимодействии с электролитами, образование ДЭС на границе раздела фаз электролит — поверхность металла и переход металла в окисленное устойчивое состояние. Электрохимическая реакция протекает с образованием свободных электронов по схеме — окислительный или анодный процесс.

Эти две реакции протекают одновременно на одной и той же корродирующей поверхности или в разных местах и разновремененно. Разделение процесса растворения металла в электролитах на два сопряженных процесса (анодный и катодный) в большинстве случаев облегчает его протекание по сравнению с химическим взаимодействием. Если же у нас электрохимическое взаимодействие металла с окислителем, который содержится в электролите (например, молекулярный кислород), то окислитель будет выступать лишь в роли деполяризатора, который отнимает валентные электроны у металла и обеспечивает переход металла в ионное состояние, но не вступает с ним в химическое соединение.

Для протекания непрерывного процесса электрохимической коррозии необходимо соединить анодные и катодные участки проводником электрического тока, обеспечивающим передачу свободных электронов с анода на катод. В результате образуется гальванический элемент, состоящий из короткозамкнутых электродов — анода, где ионы железа стального сооружения покидают кристаллическую решетку и переходят в электролит:  $Fe - 2e = Fe^{2+}$  и катода, где окислительные компоненты электролита (нейтральные молекулы растворенного кислорода или ионы водорода) забирают из кристаллической решетки оставленные ионами железа электроны и восстанавливаются:

$O_2 + 4e + 2H_2O = 4OH^-$  — реакция кислородной деполяризации;

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

$2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2 \uparrow$  — реакция водородной деполяризации.

В представленной на рис. 2.3 схеме положительным полюсом является катод, где происходит электровосстановление молекул водорода и ионов водорода, а отрицательным — анод, где ионы железа под действием сил гидратации покидают кристаллическую решетку. Например, при электрохимической защите подземных или подводных стальных сооружений, когда электрохимические реакции окисления и электровосстановления протекают под действием приложенного извне постоянного тока, катодом, наоборот, считается отрицательный полюс, а анодом — положительный.

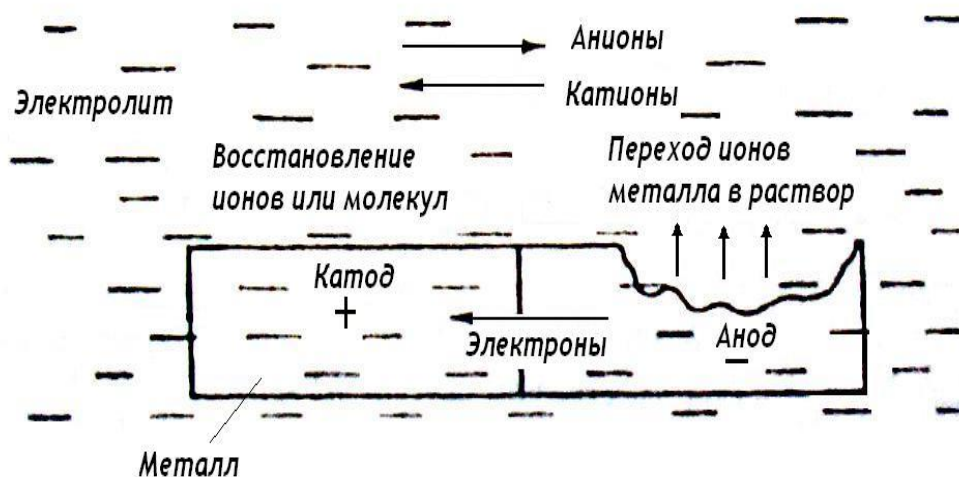


Рис. 2.3 – Схема протекания электрохимической коррозии на поверхности стального сооружения

Особенности электрохимического коррозионного разрушения стальных сооружений состоят в следующем:

- 1) растворение (разрушение) стальных конструкций на анодных участках;
- 2) возможно локализовать коррозионный процесс на отдельно взятом участке поверхности корродирующего металла;
- 3) общие коррозионные процессы делятся на катодный и анодный;
- 4) смещение электродного потенциала в отрицательную сторону тормозит анодный процесс и ускоряет катодный; смещение

потенциала в положительную сторону наоборот затрудняет катодный процесс и облегчает катодный. [5]

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
						67
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 2.4. Катодная поляризация

Потенциал подземного стального трубопровода, а следовательно, и их разность в различных сквозных дефектах изоляции изменяются, когда к нему подключен источник постоянного электрического тока. Такое явление объясняется тем, что прохождение через электролит тока неизбежно приводит к изменению условий на поверхности стального трубопровода в сквозных дефектах изоляции в связи с протеканием там электрохимических реакций, скорость которых пропорциональна силе тока. Так как скорость поступления реагирующего вещества или отвода образующегося вещества не равна скорости реакции, будет наблюдаться отклонения потенциала от его начального значения. Это явление называется поляризацией. Причины поляризации подземного стального трубопровода могут быть различными. В зависимости от вызывающих ее факторов различают активационную, концентрационную и омическую поляризацию.

Причиной активационной поляризации является сопротивление, возникающее во время катодной реакции присоединения электродов деполяризатором или торможением при переходе катионов из кристаллической решетки стальной стенки трубопровода в почвенный электролит. В электрохимии эти процессы называются стадиями; считается, что самая замедленная стадия определяет скорость течения общего электрохимического процесса. Преодоление такого сопротивления требует добавочной активационной энергии, поэтому и поляризация называется активационной.

В почвенных электролитах с водородным показателем 4—14 коррозия подземных стальных трубопроводов протекает с кислородной деполяризацией. Молекулярный кислород, растворенный в почвенном электролите, на внешней поверхности трубопровода в сквозных дефектах изоляции захватывает из кристаллической решетки стенки трубы электроны согласно реакции:  $O_2 + 4e + 2H_2O = 4OH^-$ .

					<i>Электрохимическая коррозия сооружений трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

Поляризация, связанная с изменением концентрации ионов железа, водорода или молекулярного кислорода при электродном слое, носит название концентрационной. В большинстве случаев коррозионного (электрохимического) процесса поляризация является тормозящим процессом, устанавливающим определенную конечную скорость течения электрохимической реакции. Так, при анодной поляризации, когда происходит растворение стального образца, а скорость отвода ионов железа отстает от реакции растворения, при электродном слое накапливаются положительные ионы железа и потенциал анодной зоны корродирующей поверхности смещается в сторону более положительных значений.

При катодной поляризации, когда процесс поглощения электронов депольризаторами коррозионной среды отстает от поступления их на катод, наоборот, приводит к увеличению отрицательного заряда и потенциал катода становится более отрицательным. Течение этих процессов наглядно характеризуют поляризационные кривые, которые могут быть экспериментально построены практически для любых случаев коррозии, отвечающих условиям работы коррозионной гальванической пары. Чем меньше угол наклона, тем больше скорость электродной реакции, так как снижается сопротивление электрода протеканию на нем реакции.

Причиной анодной поляризации при коррозии подземных стальных трубопроводов (отставания процесса выхода ионов железа в почвенный электролит от движения электронов с анодных участков трубопровода на катодные) является замедленность:

- 1) анодной реакции коррозии трубопровода, зависящей от энергии активации этой реакции;
- 2) диффузии ионов железа от внешней поверхности трубопровода в толщу грунта, что приводит к возникновению КП анода;
- 3) анодной реакции ионизации железа при анодной пассивности (образовании на корродирующей поверхности трубопровода адсорбционных защитных пленок).

Процессы, снижающие анодную поляризацию, называются деполяризационными. Например, движение почвенного электролита снижает концентрационную поляризацию. Известны вещества, снижающие анодную поляризацию, которые называются анодными деполяризаторами. Например, использование комплексообразователей ( $\text{NH}_3\text{CN}$ ) уменьшает активность простых ионов железа и других металлов вследствие их связывания в труднодиссоциирующие комплексы.

К причинам катодной поляризации (отставания процесса ассимиляции электронов от количества их поступления на катодные участки трубопровода) относится замедленность:

- 1) катодной деполяризации, определяемой энергией активации этой реакции;
- 2) диффузии деполяризатора из объема почвенного электролита к катодной поверхности трубопровода.

Суммарная скорость электрохимической коррозии подземного трубопровода определяется скоростью наиболее заторможенной стадии.

Поляризация электродов, как правило, не прекращает коррозионный процесс, а только замедляет. Это объясняется процессами деполяризации электродов. Если деполяризация катода осуществляется растворенным в электролите кислородом по реакции:  $\text{O}_2 + 4\text{e} + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ , то, как было уже сказано, говорят, что коррозия протекает с кислородной деполяризацией. С кислородной деполяризацией разрушаются стальные сооружения, находящиеся в атмосфере, пресной и морской воде, грунте, то есть этот вид коррозии является самым распространенным в системе трубопроводного транспорта нефти и газа.

Катодный процесс кислородной деполяризации включает следующие стадии:

1. Кислород воздуха растворяется в электролите;
2. Перенос растворенного кислорода в объеме электролита;

3. Перенос кислорода в пограничном слое электролита в результате конвекции;
4. Перенос кислорода в диффузионном слое электролита или в пленке продуктов коррозии на катоде;
5. Ионизация кислорода в щелочных и нейтральных растворах по реакции:  $O_2 + 4e + 2H_2O = 4OH^-$  и по схеме:  $O_2 + 4e + 4H^+ = 2H_2O$  в кислых средах;
6. Диффузию и конвективный перенос ионов  $OH^-$  от катодных участков в электролит.

Если какой-либо из перечисленных процессов наиболее заторможен, он и будет определять скорость коррозии подземного трубопровода.

В случаях, когда деполяризация катода осуществляется водородными ионами по реакции:  $2H^+ + 2e = H_2$ , то говорят, что коррозионный процесс протекает с водородной деполяризацией.

Скорость коррозии подземных трубопроводов с водородной деполяризацией, так же как и с кислородной, определяется течением самой медленнотекущей стадии.

Скорость коррозионного растворения стального трубопровода, выраженную в электрических единицах, принято называть внутренним коррозионным током. Процесс коррозионного разрушения под действием внутреннего коррозионного тока часто называют саморастворением.

Протекание внешнего поляризующего тока через корродирующий (саморастворяющийся) трубопровод вызывает изменение внутреннего коррозионного тока. Внешний поляризующий ток можно создать путем присоединения второго электрода (протектора), имеющего другой потенциал или с помощью внешнего источника постоянного тока.

Присоединение дополнительного катода вызывает анодную поляризацию саморастворяющегося электрода. Напротив, присоединение дополнительного анода ведет к катодной поляризации корродирующего электрода.

Увеличение скорости саморастворения электрода вследствие анодной поляризации (стальной подземный трубопровод, соединенный коротко с медной пластиной) носит название отрицательного разностного эффекта. Наоборот, уменьшение скорости саморастворения электрода вследствие анодной поляризации (хромоникелевая сталь X18H9T, погруженная в серную кислоту и соединенная коротко с медной пластиной) носит название положительного разностного эффекта.

Уменьшение саморастворения электрода благодаря присоединению к нему дополнительного анода, приводящему к катодной поляризации самого электрода, называется защитным эффектом. Однако в определенных условиях, например, при чрезмерной катодной поляризации алюминия и его сплавов, погруженных в морскую воду, вместо защитного эффекта наблюдается рост коррозионного разрушения. Такое явление условно называют отрицательным защитным эффектом. [5]



### 3. КОРРОЗИЯ В ГРУНТАХ С ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТЬЮ

#### 3.1. Коррозия в грунтах

Для начала обозначим, что такое грунт, и что такое почва. Грунт — это горные породы, которые расположены на глубине от 1,5 м и более считая от поверхности; почва — это верхний слой горных пород (до 1,5 м) Подземные трубопроводы как правило укладываются ниже глубины промерзания грунта, до 2,5 м. Горные породы в этом слое естественно изменены общим влиянием воздуха, воды, микроорганизмов. Обычно почвы классифицируют исходя из их зонального размещения.

Грунт — это многофазная дисперсная система, составляющие вещества которой находятся в жидком, твердом и газообразном состояниях. На практике равновесия между фазами не наблюдается, это обусловлено в первую очередь тем, что в грунте происходит непрерывный перенос электролита, тепла и воздуха, обусловленный непостоянством условий поверхности. Именно из-за этого процесса происходит несоблюдение условий термодинамического равновесия в вертикальном направлении. Коррозия в грунтах имеет свои особенности и специфику и определяется размером частиц грунта и составом почвенного электролита.

Твердая часть грунта состоит в основном из минералов с размерами от нескольких микронов (различные коллоидные фракции) до нескольких сантиметров (например, галька). Твердая часть грунта участие в коррозии не принимает, но в большой степени влияет на физические и механические свойства грунта, и чем меньше размер частиц и чем больше поверхность частиц, тем сильнее это влияние.

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Осипов О.С.</i>							
<i>Руковод.</i>	<i>Цимбалюк А.Ф.</i>						73	113
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>	<i>Брусник О.В.</i>							

Особенно сильно влияют на физические и механические свойства грунта пылеватые частицы (до 10 мкм), илистые частицы (до 1 мкм) и коллоидные фракции (до 0,25 мкм).

Газовая фаза является третьей составляющей грунта. Воздух, который содержится в порах грунта находится в прямом взаимодействии с поровым электролитом.

Вещества, которые содержатся в воздухе, растворенные в воде, принимают участие в коррозии. Важнейший компонент порового воздуха— это кислород. Кислород является основным окислителем при коррозионных процессах подземных сооружений. Состав порового воздуха зависит от интенсивности обмена воздуха с атмосферой и от соотношения между образованием углекислоты и потреблением кислорода. В поровом воздухе содержится очень много молекул воды, поэтому его влажность во многих случаях приближается к 100%, следовательно поверхность трубопровода в грунте почти всегда покрыта тонкой пленкой воды. По грунтовым порам, свободных от влаги, вода перемещается в виде пара.

Как было уже сказано, важнейшим компонентом грунта как коррозионной среды является кислород, который содержится как в поровом воздухе, так и в почвенном электролите. Из табл. 3.1 можем увидеть, что с уменьшением влажности или с увеличением пористости грунта концентрация кислорода в грунте увеличивается.

Таблица 3.1

**Влияние пористости и влажности грунта на концентрацию кислорода**

Тип грунта	Пористость n, %	Влажность W, %	Коэффициент, $K_w$	Концентрация кислорода в грунте, $10^{-4}$ , г/см <sup>3</sup>		Относительная погрешность, %
				Расчет.	Эксперимент.	
Песок	35	10	0,50	0,60	0,71	15
Песок	40	10	0,42	0,742	0,90	17
Песок	40	15	0,61	0,678	0,77	0,1
Глина	34,6	14,2	0,60	0,477	0,47	0,06

Концентрация кислорода в почвенном электролите грунта в зоне аэрации где, как правило, прокладываются магистральные и технологические трубопроводы, равна  $0,8 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>. Из таблицы видно, что концентрация кислорода в грунте, за счет газовой фазы грунта, выше в 10 раз. Подземные трубопроводы практически всегда покрыты пленкой влаги, поэтому увеличение концентрации кислорода в грунте приводит к прямо пропорциональному увеличению скорости коррозии подземных трубопроводов.

Другим важным критерием, характеризующим коррозионную опасность грунта, является удельное электрическое сопротивление грунта. Поэтому для оценки коррозионной активности грунта требуется знать удельное электрическое сопротивление грунта  $\rho$  (Ом\*м).

Удельное сопротивление — это сопротивление протеканию электрического тока в каком-то условном грунтовом проводнике длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1м<sup>2</sup>. Эта величина зависит от влажности грунта и содержания солей в почвенном электролите. Оно значительно снижается по мере увеличения влажности (рис. 3.1).

Из графика, представленного на рис. 3.1, видно, что по мере достижения полного влагонасыщения грунта, равного  $\approx 23\%$ , то есть состояния, когда все поры грунта заполнены грунтовым электролитом, его удельное сопротивление уже практически от влажности не зависит и остается постоянным.[4]

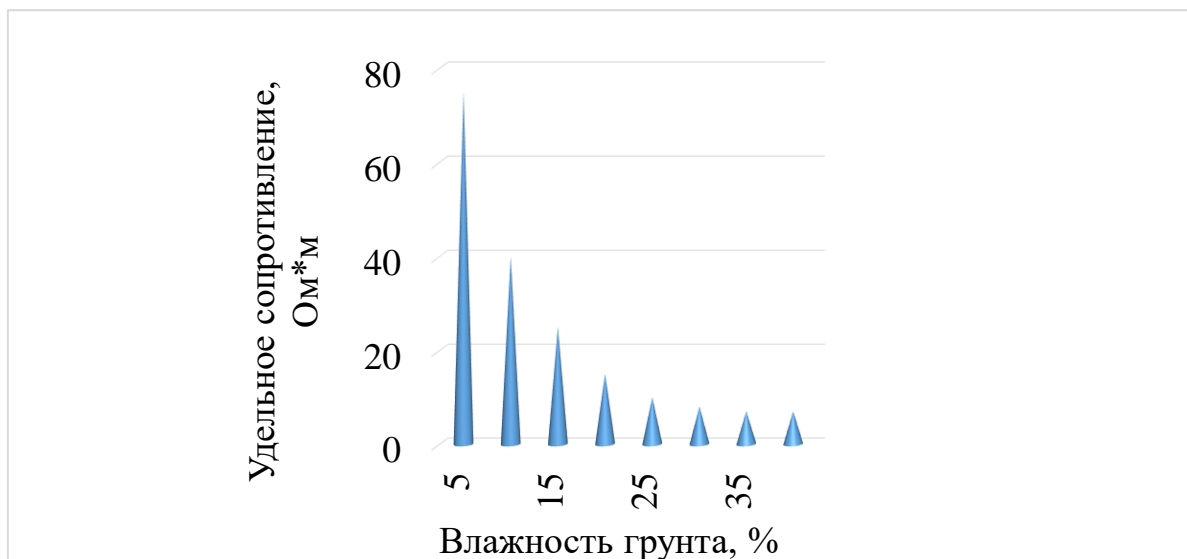


Рис. 3.1. Зависимость удельного сопротивления песчано-глинистого грунта от влажности

Удельное сопротивление грунта вдоль трассы магистрального трубопровода изменяется в широких пределах. В зимний период, когда грунт промерзает, его удельное электрическое сопротивление резко возрастает. Промерзание верхнего слоя грунта увеличивает его сопротивление в несколько раз. Сопоставление удельного сопротивления талого и мерзлого грунта представлено в табл. 3.2. Из представленной таблицы видно, что при положительных температурах грунта его удельное сопротивление изменяется незначительно. Даже незначительное промерзание грунта влечет увеличение удельного электрического сопротивления практически в десять и более раз.

Таблица 3.2

### Удельное сопротивление талых и мерзлых грунтов

Тип грунта	Состояние грунта	
	Талый грунт	Мерзлый грунт
Суглинок при влажности менее 20%	300	1500—2000
Суглинок при влажности 20—40%	200—300	3000—4000
Торф с влажностью 120%	500—600	6000—8000

В случае полного влагонасыщения грунта удельное электрическое сопротивление грунта зависит от общей минерализации грунта.

Экспериментальные результаты показывают, что удельное электрическое сопротивление грунтов аналогичным образом по сравнению с влажностью зависит от общей минерализации грунтового электролита. В области малых концентраций солей в грунтовом электролите даже незначительное их изменение резко изменяет удельное электрическое сопротивление грунта. По мере увеличения минерализации более 250 мг/л удельное электрическое сопротивление грунта практически не изменяется.

В условиях эксперимента, оставаясь равным 9—6 Ом\*м, низкое значение удельного электрического сопротивления грунта характерно для сильно засоленных, увлажненных грунтов; высокое омическое сопротивление грунтов характерно, как правило, для сухих грунтов. Большинство грунтов нефтегазодобывающих регионов России имеют значение  $\rho = 1—100$  Ом\*м.

От удельного электрического сопротивления зависит вероятность возникновения коррозии: чем меньше сопротивление, тем больше вероятность. Исходя из этой зависимости, можно оценивать коррозионную активность почв.

Следует отметить, что удельное сопротивление грунта отражает степень его коррозионной активности неоднозначно. Например, в водонасыщенных грунтах удельное сопротивление грунтов, как правило, не превышает 5—20 Ом\*м, что свидетельствует о высокой их коррозионной активности. Но скорость коррозии трубопроводов в таких грунтах часто оказывается также невелика, не более 0,08 мм/год.

Состав почвенного электролита зависит от состава растворенных в нем минеральных солей, от деятельности микроорганизмов и от протекающих в грунте биохимических процессов. Состав почвенного электролита очень изменчив. Он меняется не только в различные сезоны года, но даже в течение суток, за счет испарения, конденсации и его перемещения в толще грунта. Просачивающиеся атмосферные осадки перемещают из верхних слоев грунта в нижние минеральные и органические водорастворимые соли. Простые

					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		77

катионы и анионы в почвенно-грунтовой электролите характеризуются коэффициентом диффузии, равным  $(0,5...2) \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup> при температуре 25°C. Эффективный коэффициент диффузии кислорода в грунте, характеризующий условие доставки его к корродирующей поверхности трубопровода, также зависит от влажности грунта (табл. 3.3).

Таблица 3.3

**Влияние влажности грунтов на эффективный коэффициент диффузии кислорода**

Тип грунта	Влажность, %	ЭКДК
Песок	10	15,1±3,23
	13	4,42±0,84
	20	2,4±0,216
Глина	9	9,9±1,19
	16	2,43±0,414
	20	1,78±0,373
	37	1,57±0,047
Торф	80	13,1±2,49
	100	8,59±0,61
	120	4,63±0,147
	160	4,17±0,073

С уменьшением влажности грунта, его поры постепенно начинают заполняться воздухом. При этом катод, который находится в грунте, соприкасается с тонкими капиллярами и крупными порами, которые в свою очередь заполнены грунтовым электролитом. Через поры и капилляры питается электролитом тонкая пленка воды на катоде. Если влажность торфа, глины и песка (меньше 100%, 16% и 13%, соответственно), то толщина пленки электролита на катоде уменьшается примерно до 70 мкм. В этих условиях толщина пленки влаги на катоде меньше общей толщины диффузионного слоя. Когда толщина пленки влаги становится меньше толщины диффузионного слоя вблизи корродирующей поверхности, на скорость лимитирующего коррозионного процесса реакции

электровосстановления кислорода существенное влияние начинает оказывать и кислород, содержащийся в газовой фазе грунта.

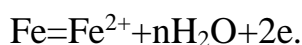
Прямым подтверждением сказанного является увеличение проницаемости кислорода корродирующей поверхности в 6—10 раз (табл. 3.3), что на практике приводит к пропорциональному увеличению скорости подземных стальных трубопроводов. Эффективный коэффициент диффузии кислорода в грунте к корродирующей поверхности количественно характеризует доставку кислорода прежде всего через слой грунтового электролита, удерживаемого на корродирующей поверхности трубопровода адсорбционными силами. [4]

					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		79

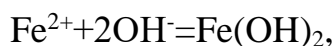
### 3.2. Подземная коррозия стальных сооружений

В сильноокислых грунтах коррозия стальных сооружений протекает с водородной деполяризацией. Кислыми грунты становятся вследствие присутствия угольной или органических кислот. Большинство грунтов, где прокладываются магистральные и технологические трубопроводы, имеют рН от 5 до 8, то есть это нейтральные либо слабощелочные грунты. Здесь доля водородной деполяризации по сравнению с кислородной пренебрежительно мала и коррозионный процесс протекает преимущественно с кислородной деполяризацией.

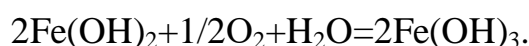
В первую очередь на аноде происходит переход ионов двухвалентного железа в почвенный электролит:



В нейтральных грунтах или грунтах с основными свойствами образуется гидроксид железа (II):



который, взаимодействуя с растворенным в воде кислородом, переходит в гидроксид железа (III):



Из данной схемы видно, что процесс на аноде сопровождается гидратацией аниона металла, а следовательно, для того чтобы анодный процесс был возможен, необходимо присутствие в грунте некоторого количества воды. Если полярных молекул воды недостаточно, то начинают накапливаться положительные ионы железа на корродирующей поверхности.

Другими словами, потенциал анода смещается в положительную сторону (так называемая, анодная поляризация), что уменьшает скорость анодного растворения. Таким образом, при уменьшении влажности грунта скорость коррозии снижается. На уровне укладки подземных трубопроводов влажность порового воздуха практически всегда равна 100%.

					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		80



По этой причине наружная поверхность подземных трубопроводов практически всегда покрыта пленкой влаги. Поэтому в естественных грунтах на уровне укладки трубопроводов имеющейся влаги достаточно для свободного протекания анодного процесса без заметного торможения.

Общая скорость коррозии подземных стальных сооружений определяется скоростью реакции, протекающей с наименьшей интенсивностью. Эта стадия называется контролирующим фактором, так как именно она контролирует скорость течения процесса. В том случае если коррозия подземного стального сооружения определяется деятельностью микрокоррозионных элементов, то контролирующим фактором процесса является катодная и анодная реакция.

Коррозионный процесс с катодным контролем (катодная реакция) характерен для большинства плотных и увлажненных грунтов, когда основную роль играет реакция присоединения свободного электрона (кислородная и водородная деполяризация), протекающая в большинстве грунтов с минимальной скоростью. Это объясняется торможением поступления кислорода воздуха к поверхности корродирующего стального сооружения.

Для сухих, рыхлых и хорошо аэрируемых грунтов характерен анодный контроль, когда затруднен отвод положительных ионов железа от анодного участка корродирующей поверхности стального сооружения. При коррозионном процессе, который обусловлен образованием макрокоррозионных элементов (например, образование макропар дифференциальной аэрации на трубопроводе в результате неравномерного доступа кислорода), преобладающее значение имеет катодно-омический и омический контроль.

В случае омического контроля коррозионного процесса величина удельного электрического сопротивления грунта может служить достаточно надежным критерием коррозионной активности грунта. В табл. 3.4

представлена оценка коррозионной активности грунта в зависимости от его удельного сопротивления.

Таблица 3.4

**Связь между удельным электрическим сопротивлением и  
коррозионной активностью грунта**

Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом*м	Коррозионная агрессивность грунта
свыше 50	низкая
от 20 до 50	средняя
до 20	высокая

Оценка коррозионной активности грунта по величине его удельного сопротивления проводится на стадии его коррозионных изысканий при проектировании подземных стальных сооружений, а также может быть полезна при исследованиях грунтовой коррозии.

Как было уже сказано, удельное электрическое сопротивление грунта не является единственным критерием при определении возможности коррозии подземных стальных сооружений.

К основным условиям возникновения грунтовой коррозии подземных стальных сооружений относятся:

- 1) наличие сквозных дефектов изоляции, то есть наличие контакта стальной поверхности с почвенным электролитом;
- 2) соединение анода и катода проводником первого рода, которым может быть и само стальное сооружение, если на его поверхности возникли анодные и катодные участки;
- 3) присутствие в почвенном электролите диссоциированных ионов и растворенного кислорода;

- 4) разность потенциалов между двумя разноименными стальными сооружениями или отдельными участками корродирующей поверхности.

Этими условиями характеризуется поверхность любого стального сооружения, которое погружено в грунт или имеет на поверхности пленку воды.

Степень опасности коррозионного разрушения подземного стального сооружения оценивают по скорости коррозии и величине убыли массы металла, определяемых токовым показателем коррозии. Как уже было сказано, большинство коррозионных процессов на наружной поверхности подземных стальных сооружений, протекают с кислородной деполяризацией. При этом наиболее существенным является факт, что скорость катодного электрохимического восстановления кислорода определяется не кинетическими, а диффузионными факторами. Скорость коррозии в этом случае полностью определяется значением предельного (диффузионного) тока по кислороду и зависит не от электрохимических свойств трубной стали, а от условий доставки нейтральных молекул растворенного кислорода к корродирующей поверхности подземного стального сооружения.

Роль конвекционных токов в грунте очень незначительна. Тут доступ кислорода ограничен всей толщиной грунта над подземным стальным сооружением, а не только неподвижным слоем электролита.

Концентрация кислорода в почвенном электролите не зависит от влажности грунта, следовательно, если влажность будет изменяться в большую или меньшую сторону, ток по кислороду не будет меняться.

Если в отсутствии твердых частиц грунта плотность предельного тока кислорода в 0,5% NaCl, который применяли для задания требуемой влажности грунтов, была равна 0,175 А/м<sup>2</sup>, то при погружении в этот раствор глины, торфа и песка (при полном их влагонасыщении) плотность предельного тока кислорода уменьшилась в 2—3,5 раза. Существуют две причины такого явления. Первая причина связана с уменьшением площади

					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83

электрода из-за экранирования твердыми частичками грунта. Вторая — с затруднением доступа кислорода к зоне, где протекает реакция, и с уменьшением конвективных потоков в грунте.

Существуют следующие особенности грунтовой коррозии:

- 1) наличие большого количества микрокоррозионных элементов, которые возникают вследствие неоднородности стальной поверхности (наличие в сталях кристаллов Fe, C, Mn, P, S и т. д.);
- 2) микровключений окалина, ржавчины на корродирующей поверхности;
- 3) физико-механическая неоднородность состава грунта (грунтового электролита), обусловленная разной плотностью, содержанием различных солей, их концентрацией, химическим составом;
- 4) возникновение и работа макрокоррозионных пар вследствие залегания разных типов грунтов по трассе трубопровода;
- 5) наличие поперечных и продольных сварных швов, различной аэрации.

Рассмотрим пример образования макрокоррозионного гальванического элемента на трубопроводах, проходящих через грунты с разным содержанием солей и разной влажностью (рис. 3.2).

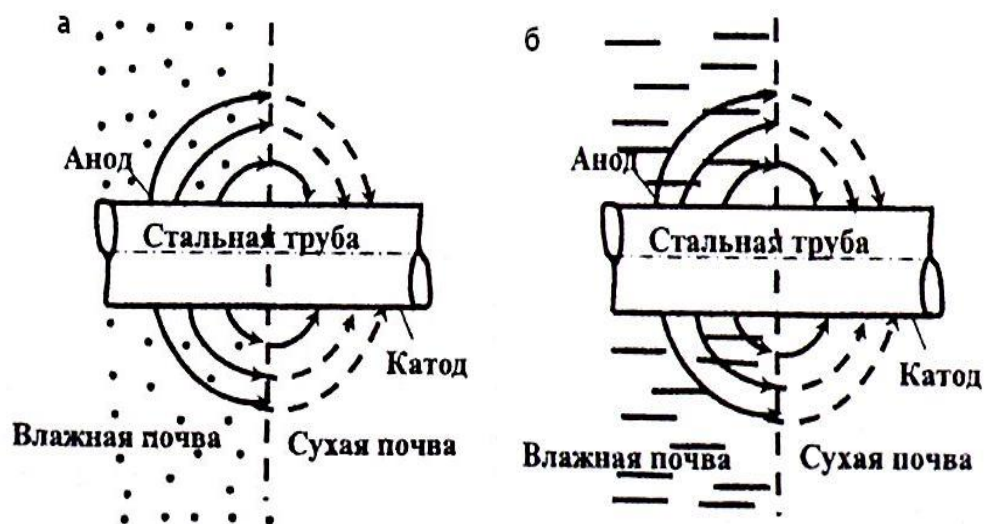


Рис. 3.2 – Участок подземного стального трубопровода

Примечание: а — на выходе из болота б — в минерализованном и неминерализованном грунте

Отрезок подземного стального трубопровода, соприкасающийся с более концентрированным грунтом (NaCl), по отношению к участку трубопровода, соприкасающимся с менее концентрированным грунтом, будет анодом в результате активирующего действия ионов хлора на анодный процесс и образования растворимой соли FeCl, которая препятствует образованию защитной пленки на корродирующей поверхности трубопровода. Точно так же, участок подземного трубопровода, находящийся в заболоченной местности, является анодом по отношению к участку трубопровода, проходящему по береговой (более сухой) аэрированной местности. На участках подземного трубопровода, где доставка кислорода затруднена, локализуется анодный процесс. Наоборот, на участках, где доставка кислорода к корродирующей поверхности облегчена, локализуется катодный процесс.

На грунтовую коррозию подземных стальных трубопроводов влияют следующие основные факторы:

- 1) влага (образуется электролит, следовательно возникает вероятность электрохимической коррозии). Если влажность увеличивается, то протекание анодного процесса облегчается, а катодного — затрудняется, так как уменьшается поступление кислорода (снижается аэрируемость металла). Если влажность уменьшается, то отвод ионов металла затрудняется. Если же влаги нет совсем, то нет и электрохимической коррозии;
- 2) воздухопроницаемость грунта, которая зависит от химического состава, пористости, влажности. Если воздухопроницаемость повышается, то катодный процесс облегчается, следовательно, ускоряется коррозионные процессы;

- 3) электропроводимость грунта, зависящая от химического состава, влажности и структуры. Увеличение засоленности грунтов снижает электросопротивление;
- 4) кислотность грунта (водородный показатель от 3 до 7). В кислых грунтах вследствие дополнительной катодной деполяризации ионами водорода ускоряется коррозия;
- 5) грунты разного химического состава (т. е. разнородные грунты). Это приводит к тому, что образуются макрокоррозионные пары, следовательно интенсивность коррозии увеличивается;
- 6) температура транспортируемого по трубопроводу продукта. При повышении температуры скорость коррозии увеличивается, но резко замедляется при замерзании почвенно-грунтового электролита. Различие температур по длине трубопровода (вблизи нефтеперекачивающих и компрессорных станции и на некотором расстоянии от нее) может привести к образованию термогальванических коррозионных пар. [1]

### 3.3. Микробиологическая коррозия стальных сооружений

Почвенную коррозию также может вызывать деятельность некоторых микроорганизмов. В настоящее время в трубопроводном транспорте нефти и газа вопросам биокоррозии придают большое значение. Существует мнение, что биологическая коррозия является достаточно опасным видом коррозии и из-за нее происходит значительное количество всех коррозионных разрушений. Анализ опубликованных отечественных данных свидетельствует о недостаточно полном изучении проблемы микробиологической коррозии подземных стальных сооружений. Однако же то, что микроорганизмы активно участвуют в подземной коррозии не вызывает сомнений.

Есть аэробные бактерии, жизнедеятельность которых может протекать только в присутствии кислорода, и анаэробные, чья деятельность может протекать и в отсутствие кислорода.

Самые опасные бактерии — это анаэробные сульфатовосстанавливающие. Они широко распространены в болотных, илистых, глинистых грунтах, сточных водах, в нефтяных скважинах. Наиболее благоприятной средой для развития этих бактерий являются кислые грунты ( $pH = 5-9$ ) при температуре около  $30^{\circ}C$ .

Выделяющийся кислород расходуется на протекание катодной деполяризации. Сероводород снижает перенапряжение водорода в кислых грунтах и облегчает, тем самым облегчает протекание катодного процесса в этих условиях. Сульфид-ионы ускоряют анодный процесс коррозии стальной поверхности подземного трубопровода. В результате действия сульфатовосстанавливающих бактерий образуется сероводород, который, соединяясь с железом, дает сернистое железо  $FeS$ . Деятельность анаэробных бактерий резко возрастает весной, именно в это время года трубопровод подвергается особенно сильной коррозии.

Образовавшаяся серная кислота интенсивно разрушает стальные подземные сооружения.

Что касается аэробных микроорганизмов, то их деятельность заключается в потреблении ионов железа и их переработке. Этот процесс сопровождается образованием нерастворимой пленки гидроксида железа (III)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , которая имеет красно-бурый.

Подводя итог, можно сказать, что влияние микроорганизмов на коррозионные процессы подземных трубопроводов проявляется как в виде образования на корродирующей поверхности труднорастворимых пленок, так и так и в виде прямого воздействия на железо продуктов жизнедеятельности бактерий (например, сероводород).

Чтобы установить степень опасности биологической коррозии, необходимо взять бактериологические пробы грунта и провести анализ. В реальных условиях такой анализ следует выполнять на месте, чтобы сохранить стабильность условий деятельности бактерий. [2]

					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		88



### **3.4. Коррозия подземных стальных сооружений блуждающими токами**

Электрический ток, протекающий по стальному подземному сооружению, влияет на скорость его коррозионного разрушения при стекании тока в грунт. Возникновение токов связано с работой электрических устройств, использующих в качестве токопровода землю. В ней появляются электрические токи, сила и направление которых могут изменяться во времени. Эти токи называются блуждающими токами. Наиболее мощными и распространенными источниками блуждающих токов являются электрофицированные железные дороги, линии трамвая, метрополитена и установки катодной защиты соседних подземных стальных сооружений.

Рассмотрим механизм возникновения блуждающих токов в грунте от электрофицированного железнодорожного транспорта, а также от установок катодной защиты и их воздействие на подземный стальной трубопровод.

Устройство электроснабжения электрофицированных железных дорог, трамваев и метрополитена принципиально одинаково, поэтому и процессы возникновения в земле блуждающих токов от этих источников одинаковые. Положительный полюс источника питания подключается к контактному проводу, а отрицательный – к рельсам.

В этом случае тяговый ток с положительной шины тяговой подстанции по питающим линиям направляется через контактную сеть и токоприемник к двигателю электровоза, а затем через колеса и рельсы к отрицательной шине тяговой подстанции. А часть тягового тока стекает в землю так как рельсы не полностью изолированы от земли.

Сила стекающего тока (или другими словами блуждающего) становится больше, если переходное сопротивление между рельсами и грунтом становится меньше, а продольное сопротивление стыковых соединений

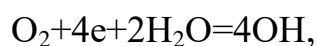
рельсов выше. Если соблюдены условия, способствующие утечке тока в грунт (отсутствие стыковых соединений на рельсах, загрязненность балласта), то сила блуждающего тока в грунте может достигать 70—80% от общей силы тягового тока, то есть десятков и сотен ампер. Считается опасной для подземных металлических сооружений плотность тока утечки, которая превышает 0,0015 мА/м<sup>2</sup>.

Участок рельсового пути, на котором находится электровоз, имеет положительный потенциал по отношению к окружающему грунту, а участок в районе подключения отсасывающего фидера – отрицательный. Так как на участке между двумя тяговыми подстанциями могут находиться несколько электровозов, то в зависимости от их расположения и силы тягового тока потенциалы отдельных участков рельсового пути будут изменяться как по значению, так и по знаку.

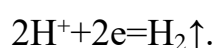
Блуждающие токи, протекая в грунте и встречая на своем пути подземные металлические сооружения (трубопроводы, кабели), переходят на них, так как сопротивление металла значительно меньше сопротивления грунта.

Ток течет по подземному стальному сооружению до тех пор, пока не встретит благоприятные условия для возвращения на минусовую шину тяговой подстанции (рельсовый путь). Блуждающие токи имеют радиус действия до нескольких десятков километров в сторону от токонесущих сооружений (трамвайных или железнодорожных рельсовых путей, линии электропередачи).

В местах входа блуждающих токов в подземный трубопровод и выхода из него в грунт протекают электрохимические реакции. В зоне входа токов происходит катодный процесс:

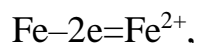


который приводит к подщелачиванию грунта вблизи трубопровода, а иногда и к выделению водорода:



					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90

В местах выхода тока в грунт образуются анодные участки:



где происходит усиленное растворение металла, прямо пропорциональное силе стекающего тока.

Основной величиной, характеризующей интенсивность процесса электрокоррозии, является сила тока, стекающего с подземного сооружения в грунт, отнесенная к единице поверхности, то есть плотность тока утечки. Практически можно измерить только линейную плотность тока утечки, то есть силу тока, стекающего с единицы длины подземного трубопровода.

Блуждающие токи характеризуются также значением потенциала по отношению к ближайшей точке земли. Но значение потенциала указывает лишь на возможность электрокоррозионного процесса, то есть на вход или стекание тока с подземного сооружения, но не позволяет оценить количество разрушаемой стали. Принципиальная особенность коррозии блуждающими токами состоит в том, что ее скорость практически не ограничена скоростью доставки кислорода, как при почвенной коррозии. Сила блуждающего тока определяется не доставкой кислорода к корродирующей поверхности, а переходными сопротивлениями в системе «рельс – грунт – подземный стальной трубопровод».

Решающее значение имеет не сила блуждающего тока, а его плотность в анодной зоне трубопровода. Дополнительное коррозионное разрушение под действием блуждающего тока становится заметным, когда его плотность достигает уровня скорости почвенной коррозии, выраженной в единицах плотности тока.

На практике плотность блуждающего тока в анодной зоне в десятки и более раз выше, чем скорость почвенной коррозии. На подземные трубопроводы могут натекать токи силой в сотни ампер. При наличии защитного покрытия на трубопроводе блуждающие токи могут стекать при наличии сквозных дефектов в изоляции. Поэтому плотность стекающих токов в отдельных случаях очень велика. На практике встречаются случаи,

					<i>Коррозия в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		91

когда в анодных зонах от действия блуждающих токов сквозные дефекты в стенках труб образуются через несколько месяцев после прокладки трубопроводов.

Схема питания электрофицированной железной дороги приведена на рис. 11:

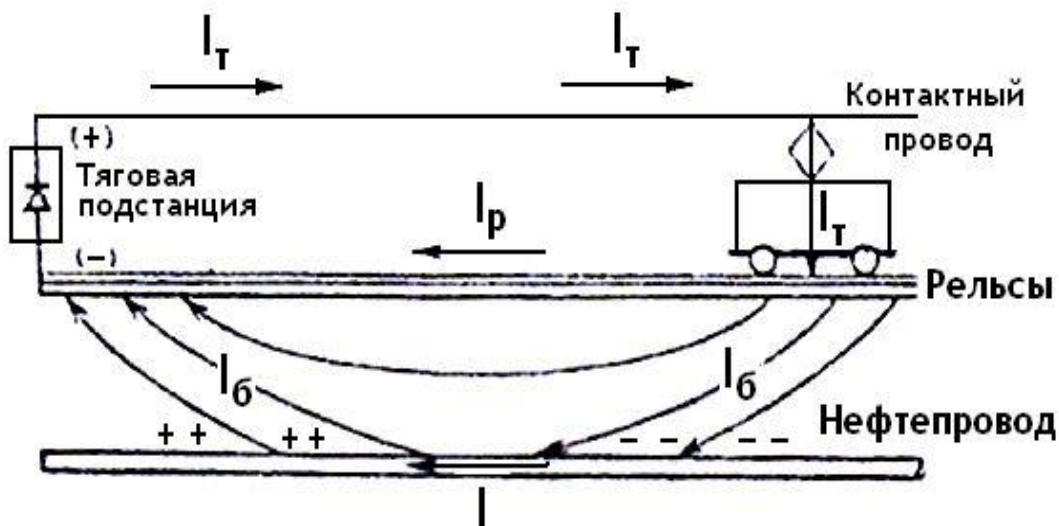


Рис. 3.3 – Схема возникновения блуждающих токов в подземном стальном трубопроводе

Переменный блуждающий ток также опасен, но скорость разрушения металлов им в несколько раз меньше, чем постоянным током. Опасность в этом случае резко возрастает, если блуждающий переменный ток в грунте каким-либо образом выпрямляется.

Блуждающие токи могут выводить из строя незащищенные или плохо защищенные подземные стальные сооружения (трубопроводы, кабели, резервуары) в течение нескольких месяцев.

## 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДА

### 4.1. Расчет трубопровода без коррозионного разрушения

Табл. 4.1

#### Исходные данные

Q <sub>г</sub> , млн.т/год	70
Длина трассы L, км	560
Разность отметок начала и конца трубопровода AZ=Z <sub>2</sub> -Z <sub>1</sub> , м	15
Средняя расчетная кинематическая вязкость при температурах грунта на глубине заложения трубопровода $\nu_p$ , см <sup>2</sup> /сек	0,55
Средняя плотность при данном диапазоне измерения температур $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	0,870
Давление, развиваемое насосной станцией P <sub>1</sub> кгс/см <sup>2</sup>	58
Остаточное давление в конце перегона P <sub>2</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	2
Средняя абсолютная шероховатость для нефтепроводных труб после нескольких лет эксплуатации e, мм	0,2
Потери в местных сопротивлениях h <sub>мс</sub> , м	0,02 <sub>Птр</sub>
Толщина стенки трубы $\delta$ , мм	12
Наружный диаметр трубопровода D, мм	1220
Высота грунта над верхней образующей трубы h, м	1

Проводить расчет будем согласно РД 39-30-718-82 [11].

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Осипов О.С.</i>				<i>Гидравлический расчет трубопровода</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Цимбалюк А.Ф.</i>						93	113
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>	<i>Брусник О.В.</i>							

Секундный расход газа:

$$Q_c = \frac{Q_z}{N_z \cdot 24 \cdot \rho \cdot 3600}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где  $N_z=349$  дней — расчетное число рабочих дней для магистрального газопровода диаметром свыше 820 мм и длиной свыше 250 км.

$$Q_c = \frac{70000000}{349 \cdot 24 \cdot 0,870 \cdot 3600} = 2,66 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Внутренний диаметр трубопровода:

$$D = D - 2 \cdot \delta = 1220 - 2 \cdot 12 = 1196 \text{ мм} = 1,196 \text{ м}.$$

Средняя скорость течения газа по трубопроводу рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2,66}{3,14 \cdot 1,196^2} = 2,376 \text{ м/с}.$$

Проверка режима течения

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{2,376 \cdot 1,196 \cdot 10^4}{0,55} = 51674,48$$

$Re > Re_{кр} = 2320$ , режим течения газа турбулентный. Находим  $Re_I$  и  $Re_{II}$ .

$$Re_I = \frac{10}{\varepsilon}; \quad Re_{II} = \frac{500}{\varepsilon}; \quad \varepsilon = \frac{e}{d},$$

где  $\varepsilon$  - относительная шероховатость труб.

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 0,2}{1196} = 0,00033; \quad Re_I = \frac{10}{0,00033} = 30303,03; \quad Re_{II} = \frac{500}{0,00033} = 1515151,5,$$

$Re_I < Re < Re_{II}$  Зона смешанного трения (переходная зона).

Коэффициент гидравлического сопротивления определяется для зоны смешанного трения по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re} + \frac{k_s}{d_{вн}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{51674,48} + \frac{0,2}{1,196} \right)^{0,25} = 0,07$$

Гидравлический уклон находим по формуле:

$$i = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{0,07 \cdot 2,37^2}{1,196 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,0162$$

					Гидравлический расчет трубопровода	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

Потери напора на трение в трубопроводе:

$$h_{mp} = i \cdot L = 0,0162 \cdot 560 \cdot 10^3 = 4072,903 \text{ м};$$

Потери напора на местные сопротивления:

$$h_{mc} = 0,02 \cdot h_{mp} = 0,02 \cdot 4072,903 = 81,458 \text{ м};$$

Полные потери напора в трубопроводе:

$$H = h_{mp} + h_{mc} + \Delta z = 4072,903 + 81,438 + 15 = 4169,341 \text{ м}.$$

#### 4.2. Расчет газопровода с наличием коррозионного дефекта

Секундный расход газа:

$$Q_c = \frac{Q_z}{N_z \cdot 24 \cdot \rho \cdot 3600}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где  $N_z=349$  дней — расчетное число рабочих дней для магистрального газопровода диаметром свыше 820 мм и длиной свыше 250 км.

$$Q_c = \frac{70000000}{349 \cdot 24 \cdot 0,870 \cdot 3600} = 2,66 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Внутренний диаметр трубопровода (с учетом коррозионного дефекта глубиной  $H = 2$  мм):

$$D = D - 2 \cdot \delta = 1220 - 2 \cdot 10 = 1200 \text{ мм} = 1,2 \text{ м}.$$

Средняя скорость течения газа по трубопроводу рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2,66}{3,14 \cdot 1,2^2} = 2,353 \text{ м/с}.$$

Проверка режима течения

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{2,353 \cdot 1,2 \cdot 10^4}{0,55} = 51338,18$$

$Re > Re_{кр} = 2320$ , режим течения газа турбулентный. Находим  $Re_I$  и  $Re_{II}$ .

$$Re_I = \frac{10}{\varepsilon}; \quad Re_{II} = \frac{500}{\varepsilon}; \quad \varepsilon = \frac{e}{d},$$

где  $\varepsilon$  - относительная шероховатость труб.

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 0,2}{1200} = 0,00033; \quad Re_I = \frac{10}{0,00033} = 30303,03; \quad Re_{II} = \frac{500}{0,00033} = 151515,15,$$

					Гидравлический расчет трубопровода	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

$Re_I < Re < Re_{II}$  Зона смешанного трения (переходная зона).

Коэффициент гидравлического сопротивления определяется для зоны смешанного трения по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re} + \frac{k_s}{d_{вн}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{51338,18} + \frac{0,2}{1,2} \right)^{0,25} = 0,07$$

Гидравлический уклон находим по формуле:

$$i = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{0,07 \cdot 2,353^2}{1,2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,0167$$

Потери напора на трение в трубопроводе:

$$h_{тр} = i \cdot L = 0,0167 \cdot 560 \cdot 10^3 = 4352,781 \text{ м};$$

Потери напора на местные сопротивления:

$$h_{мс} = 0,02 \cdot h_{тр} = 0,02 \cdot 4352,781 = 87,055 \text{ м};$$

Полные потери напора в трубопроводе:

$$H = h_{тр} + h_{мс} + \Delta z = 4352,781 + 87,055 + 15 = 4454,836 \text{ м}.$$

					<i>Гидравлический расчет трубопровода</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96



## 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью планирования себестоимости проведения ремонтных работ является экономически обоснованное определение величины затрат на их выполнение. Согласно проекту будут выполняться следующие виды работ:

1. Приобретение оборудования;
2. Приобретение расходных материалов;
3. Проведение ремонтных работ.

В фактические затраты на проведение работ включаются затраты на:

- 1) материалы;
- 2) оборудование;
- 3) амортизацию оборудования;
- 4) заработную плату и налоговые отчисления.

### 5.1 Расчёт нормативной продолжительности выполнения работ

Для начала необходимо рассчитать время проведения изоляционных работ, которые включают:

- подготовительные работы;
- очистка трубопровода от старого покрытия;
- нанесение новой изоляции;
- засыпка трубопровода.

Продолжительность времени проведения работ по переизоляции приведена в таблице 1:

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Осипов О.С.</i>						97	113
<i>Руковод.</i>	<i>Цимбалюк А.Ф.</i>							
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>	<i>Брусник О.В.</i>							НИ ТПУ гр. 2Б4А

**Продолжительность работ по переизоляции трубопровода**

Вид работ	Продолжительность работ, мес	Состав бригады, чел.
Подготовительные работы	9,5	16
Очистка трубопровода от старого покрытия	3	16
Нанесение новой изоляции	5	16
Засыпка трубопровода	3	16
Итого	20,5	

**5.2 Расчет сметной стоимости работ ресурсным методом.**

Ресурсный метод — это калькулирование в текущих (прогнозных) ценах и тарифах ресурсов (элементов затрат), необходимых для реализации проектного решения. При составлении смет используются натуральные измерители расхода материалов и конструкций, затрат времени эксплуатации машин и оборудования, затраты труда рабочих, а цены на указанные ресурсы принимаются текущие (т.е. на момент составления смет). Использование данного метода позволяет определить сметную стоимость объекта на любой момент времени.

Основу сметного расчёта составляют затраты на материальные ресурсы, трудовые затраты на заработную плату и страховые взносы, а также амортизация основных фондов. Проведем расчет данных затрат на очистку внутренней полости нефтепровода

### 5.2.1 Расчет стоимости материалов на проведение переизоляции трубопровода

В этот раздел включаются затраты на приобретение антикоррозионного материала для проведения ремонта, а именно: грунтовка «ТИАЛ», битумная мастика «ТИАЛ», изоляционная лента «ТИАЛ».

Определим суммарные затраты, связанные с покупкой материалов и изделий.

*Таблица 5.2*

### Расчет стоимости материалов на проведение переизоляции трубопровода

Наименование материала	Норма расхода материала, ед. нат.	Цена за единицу, руб. нат. ед.	Стоимость материалов, руб.
Грунтовка «ТИАЛ»	25694	42	1 079 148
Битумная мастика «ТИАЛ»	66882	15	1 003 230
Изоляционная лента «ТИАЛ»	100054,54	37	3 702 017,98
Итого			5784395,98

### 5.2.2 Расчет стоимости оборудования для проведения переизоляции трубопровода

В статью «оборудование» включаются затраты на приобретение технологического оборудования: очистная машина, грунтовочное устройство, изоляционная машина, бульдозеры, экскаваторы, трубокуладчики.

**Расчет стоимости оборудования для проведения переизоляции  
трубопровода**

Наименование материалов и комплектующих	Единица измерения	Кол-во	Цена	Сумма
Очистная машина ОМ-1420	шт.	1	630000	630000
Грунтовочная устройство УГТ-1220	шт.	1	860000	860000
Изоляционная машина МИ 1220	шт.	1	1 607 000	1 607 000
Бульдозер	шт.	2	2 507 400	5014800
Экскаватор	шт.	2	3 200 000	6400000
Трубоукладчик	шт.	5	3 500 000	17500000

### 5.2.3 Затраты на амортизацию оборудования

Затраты на амортизацию рассчитываются линейным методом, исходя из первоначальной стоимости объекта основных средств и срока эксплуатации.

Для расчета амортизационных отчислений необходимо помнить, что к амортизируемому имуществу относятся основные средства со сроком службы более 12 месяцев и стоимостью более 40000 руб.

Амортизационные отчисления рассчитываем следующим образом:

$$\sum \text{Ам. отч.} = \frac{C_{oc} * H_a}{100}$$

где  $C_{oc}$  – первоначальная стоимость основного средства, руб.;  $H_a$  – годовая норма амортизационных отчислений, в процентах.

$$H_a = \frac{100}{T}$$

где  $T$  – срок службы основного средства, лет.

По представленным формулам произвели расчет амортизационных отчислений для оборудования, применяемого для ремонта газопровода.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

Таблица 5.4

## Затраты на амортизацию оборудования

Виды основных средств	Кол-во, шт.	Стоимость единицы, руб.	Срок эксплуатации, лет	Годовая норма амортизации, %	Сумма амортизационных отчислений за период работы, руб.
Бульдозер	2	2 507 400	10	10	250740
Экскаватор	2	3 200 000	10	10	320000
Трубоукладчик	5	3500000	10	10	350000
Очистная машина ОМ 1420	1	630000	10	10	63000
Грунтовочное устройство УГТ 1220	1	820000	10	10	82000
Изоляционная машина МИ 1220	1	1607000	10	10	160700
Итого					1289440

Таким образом, общие затраты на амортизацию оборудования за время проведения работ составят 1 289 440 руб.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	Лист
						101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 5.2.4 Затраты на оплату труда

На ремонт газопровода длиной 142 км отводится 20,5 месяца.

Для проведения ремонта требуется 32 человека (по 16 человек в смену)

Таблица 5.5

#### Затраты на оплату труда

Персонал	Количество работников	Зарботная плата одного работника (месячная), руб.
Машинист бульдозера	4	58000
Машинист экскаватора	4	65000
Машинист трубоукладчика	10	58000
Изолировщики	4	45000
Стропальщики	4	40000
Сварщики	4	60000
ЛНК	2	50000

Рассчитаем фонд заработной платы для всех работников, за весь период проведения работ по формуле, руб.:

$$\Phi ЗП = (\sum ЗП_i * n_i) * 20.5 \text{ (руб.)}$$

где  $\Phi ЗП$  – фонд заработной платы всех работников за весь период работ,

$ЗП_i$  – заработная плата  $i$ -ого работника, руб.;

$n_i$  – количество работников  $i$ -ой должности;

20,5 месяцев – время проведения работ.

Подставив значения формулу получим:

$$\Phi ЗП = (58000*4+65000*4+58000*10+45000*4+40000*4+60000*4+50000*2)*20,5 = 35\,916\,000 \text{ рублей}$$

Страховые взносы определяются согласно установленным Налоговым кодексом РФ. Основная сумма страховых взносов складывается из страховых

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

взносов в государственные внебюджетные фонды и страховых взносов в фонд социального страхования на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, составляющих 30% и 0,2% соответственно от фонда заработной платы.

Таблица 5.6

### Сумма страховых взносов

Вид работ	Сумма страховых взносов, руб.
Переизоляция трубопровода	10 665 664

### 5.3 Суммарные затраты на проведение ремонта

Суммарные затраты определим по формуле, руб.:

$$\sum Z = \sum Z_{\text{мат}} + \sum Z_{\text{оборуд}} + \sum Z_{\text{аморт}} + \sum Z_{\text{фзп}} + \sum Z_{\text{налог}}$$

где  $\sum Z_{\text{мат}}$  - суммарные затраты на приобретение материалов, руб.;

$\sum Z_{\text{оборуд}}$  - суммарные затраты на приобретение оборудования, руб.;

$\sum Z_{\text{аморт}}$  - суммарные затраты на амортизацию оборудования, руб.;

$\sum Z_{\text{фзп}}$  - суммарные затраты на фонд заработной платы, руб.;

$\sum Z_{\text{налог}}$  - суммарные затраты на налоговые отчисления, руб.

$$\sum Z = 5\,784\,395 + 32011800 + 1\,289\,440 + 35\,916\,000 + 10\,665\,664 =$$

$$= 85\,667\,299 \text{ рублей}$$

Полученные данные сведем в таблицу:

Таблица 5.7

### Суммарные затраты на проведение ремонта

Наименование затрат	Затраты, руб.	Удельный вес затрат, %
Затраты на материалы	5 784 395	7
Затраты на оборудование	32 011 800	39
Затраты на амортизацию оборудования	1 289 440	2
Затраты на фонд заработной платы	35 916 000	41
Затраты на налоговые отчисления	10 665 664	11
Итого	85 667 299	100

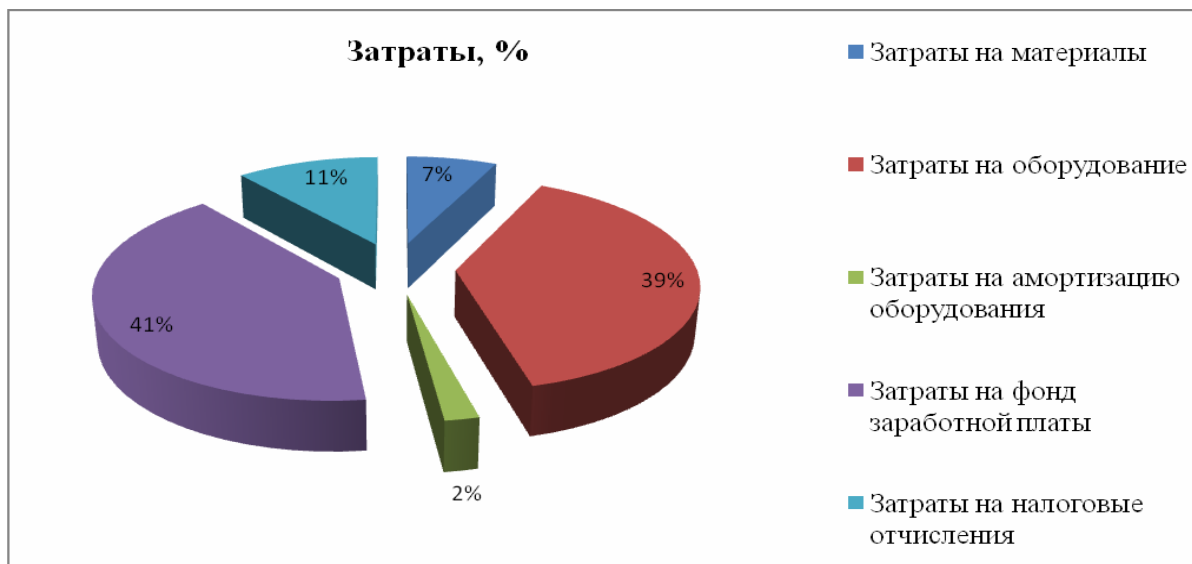


Рисунок 5.1. Структура затрат на проведение ремонта.

В данном разделе была представлена нормативная продолжительность цикла работ по переизоляции трубопровода. На проведение мероприятия по замене изоляции на участке магистрального нефтепровода длиной 142 километра потребуется 85 667 299 рублей; наибольший удельный вес в структуре затрат приходится на затраты на оборудование и затраты на фонд заработной платы (39% и 41% соответственно).



## 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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)

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены виды коррозионного разрушения; описаны теоретические основы процессов коррозионных разрушений; выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на возникновение коррозионных процессов; рассмотрены способы защиты от коррозии.

Условным рабочим местом является магистральный нефтепровод подземного исполнения. При проведении противокоррозионных работ могут возникнуть вредные и опасные проявления факторов производственной среды на человека, проявляется негативное воздействие на природу, возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Следовательно, необходимо в обязательном порядке выполнять требования экологической, производственной безопасности.

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					111	105
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						



### **6.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

#### *1) Отклонение параметров климата на открытом воздухе.*

Климат представляет комплекс физических параметров воздуха, влияющих на тепловое состояние организма. К ним относят температуру, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационного излучения солнца, величину атмосферного давления. Максимальная температура для Томской области составляет +37°C, минимальная -51°C.

Нормирование параметров на открытых площадках не производится, но определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия их на организм рабочего.

Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева.

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

#### *2) Повышенный уровень шума.*

Источниками шума являются звуки, вызванные в результате производственной деятельности машин, используемых при ремонте МН (бульдозеры, экскаваторы, трубоукладчики). Действие шума на человека определяется влиянием на слуховой аппарат и многие другие органы и системы организма, в том числе и нервную систему.

Громкость ниже 80 дБ обычно не влияет на органы слуха.

Длительное действие шума > 85 дБ в соответствии с нормативными документами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83, приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

Основные методы борьбы с шумом:

					Социальная ответственность	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- использование средств, снижающих шум (звукоизолирующие экраны, кожухи, кабины;
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) – наушники;
- соблюдение режима труда и отдыха.

*3) Повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей среды.*

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м<sup>3</sup>, для нефтепродуктов ПДК равно 300 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами. Работающие в условиях пылеобразования должны быть в противопыльных респираторах («Лепесток», Ф-62Ш, У-2К, «Астра-2», РП-КМ и др.), защитных очках и комбинезонах.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

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

### *1) Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования*

Скорость движения автотранспорта, по строительной площадке и вблизи мест производства работ не должны превышать 10 км/час на прямых участках и 5 км/час на поворотах.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Перемещение, установка и работа машин вблизи выемок, траншей и котлованов разрешается только за пределами призмы обрушения грунта.

Для проезда строительной техники через действующие трубопроводы и другие подземные коммуникации предусмотрено устройство переездов, обеспечивающих их сохранность и безопасную эксплуатацию.

### *2) Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу*

Защита органов зрения осуществляется с помощью различных предохранительных очков при выполнении технологических процессов (работа с ручным электроинструментом с образованием искр, работа с пескоструйным инструментом, различные слесарные работы).

Защита органов дыхания обеспечивается применением различного рода респираторов и противогазов там где имеется вредность. (используются респираторы при газовой резке металла, работы с лакокрасочными материалами. Использование противогазов, при проведении газоопасных работ)

Респираторы служат для защиты легких человека от воздействия взвешенной в воздухе пыли, противогазы - для защиты от газов и вредных паров.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

В зависимости от содержания кислорода в воздухе применяются дующие противогазы:

- Фильтрующие - при содержании кислорода в воздухе свыше 19%. Обслуживающий персонал установки обеспечивается противогазами с марками коробок БКФ, возможно применение коробок марки «А».
- Шланговые - применяются при содержании кислорода в воздухе менее 20% при наличии в воздухе больших концентраций вредных газов (свыше 0,5% об.). Применение шланговых противогазов обязательно при проведении работ внутри аппаратов, резервуаров и другой аналогичной закрытой аппаратуры.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		110

## 6.2. Экологическая безопасность

При выполнении ремонтных работ на линейной части нефтепровода необходимо соблюдать требования по защите окружающей среды, условия землепользования, установленные законодательством по охране природы, СНиП 12-01-2004, СНиП III-42-80\*, ВСН 012-88 (глава 9), и другими нормативными документами.

Перед началом производства работ следует выполнить следующие работы:

- оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;
- заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, нефтезагрязненного грунта, сточных вод, образующихся в процессе производства работ;
- оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации ремонта необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

*Виды воздействий на природную среду в период ремонтных работ:*

- Загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ;
- Выбросы при производстве изоляционных работ;
- Образование и размещение отходов, образующихся при ремонте. Перед началом работ необходимо обеспечить наличие отвода земельного участка. С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли.

Для снижения воздействия на поверхность земель предусмотрены следующие мероприятия:

					Социальная ответственность	Лист
						111
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- минимально необходимые размеры котлована;
- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных и строительно-монтажных средств;
- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества;
- выполнение работ, связанных с повышенной пожароопасностью, специалистами соответствующей квалификации.

Загрязнение атмосферного воздуха в период ремонтных работ происходит за счет неорганизованных выбросов и является кратковременным.

К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и механизмов, вещества, выделяющиеся при сварке труб, выполнении изоляционных работ.

Мероприятия направленные на защиту атмосферного воздуха в зоне производства работ:

- осуществлять периодический контроль за содержанием загрязняющих веществ в выхлопных газах;
- для уменьшения выбросов ЗВ от автотранспорта необходимо в период ремонтных работ обеспечить контроль топливной системы механизмов и системы регулировки подачи топлива, обеспечивающих полное его сгорание;
- допускать к эксплуатации машины и механизмы в исправном состоянии, особенно тщательно следить за состоянием технических средств, способных вызывать загорание естественной растительности.

Загрязнение атмосферы в период производства работ носит временный обратимый характер.

Производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны очищаться и обезвреживаться в порядке,

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112



предусмотренном проектом организации строительства и проектами производства работ.

Сельскохозяйственные и лесные угодья должны быть возвращены в состояние, пригодное для использования по назначению и сданы землепользователю.

По окончании ремонтных работ должна быть проведена рекультивация нарушенных земель согласно РД 39-00147105-006-97.

При невозможности восстановления коренной растительности необходимо создать ее искусственные формы посевом быстрорастущих видов трав с развитой корневой системой.

Природовосстановительные работы считаются завершенными, если отсутствуют:

- участки с невозстановленным растительным покровом;
- места, загрязненные нефтью, горюче-смазочными материалами, строительными и бытовыми отходами;
- места разрушения естественного ландшафта.

Все образовавшиеся отходы производства, при выполнении работ (огарки сварочных электродов, окалину, абразивный материал, ТБО, снятую гидроизоляцию труб, загрязненную ветошь, промывочные растворы, остатки композиционных материалов и упаковки) собрать и разместить в контейнеры для временного хранения и дальнейшей утилизации в соответствии с требованиями РД 153-39.4-115-01

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

### 6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Необходимо спрогнозировать все возможные чрезвычайные ситуации при проведении ремонтных работ:

- ошибочные действия персонала при проведении ремонтных работ, несоблюдение очередности оперативных переключений трубопроводов и запорной арматуры и др;
- отказ приборов контроля и сигнализации;
- отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии;
- производство ремонтных работ без соблюдения необходимых организационно-технических мероприятий;
- старение оборудования (моральный или физический износ);
- порыв трубопровода при его подъёме;
- коррозия оборудования;
- факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.);
- обморожение;
- пожары;
- взрывы;
- разливы сильнодействующих ядовитых веществ и т.д.

Для исключения возникновения аварийных ситуаций рекомендуется:

- своевременно проводить планово-предупредительные ремонты;
- запретить оставлять открытой запорную арматуру на неработающем нефтепродуктопроводе;
- исполнителей работ обязательно ознакомить с правилами ведения работ в охранной зоне МН

Мероприятия и состав аварийных средств для ликвидации возможного аварийного разлива нефти должны соответствовать существующему «Плану по ликвидации возможных аварий на линейной части магистральных нефтепродуктопроводов».

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

В случае повреждения нефтепродуктопровода или при обнаружении выхода нефти при выполнении работ руководитель работ обязан:

- прекратить все работы в охранной зоне нефтепродуктопровода;
- заглушить все работающие механизмы в зоне аварии;
- вывести персонал из зоны аварии и организовать охрану зоны аварии для предотвращения доступа посторонних лиц;
- отвести технические средства на безопасное расстояние вне зоны аварии;
- известить диспетчера РНУ аварии;
- оградить место аварии аварийными знаками, флажками;
- до прибытия на место аварии руководителя аварийной бригады действовать согласно оперативной части «Плана по ликвидации возможных аварий на ЛЧ МНПП»;
- по прибытии на место аварии руководителя аварийной бригады выполнять его распоряжения согласно «Плану по ликвидации возможных аварий на ЛЧ МНПП».

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		115

## **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Организация и проведение ремонтных работ должны осуществляться в соответствии с требованиями действующих руководящих документов и регламентов.

Запрещается проводить ремонтные работы без оформления необходимых разрешительных документов. Организационно-технические мероприятия по обеспечению безопасного производства огневых, газоопасных работ и работ повышенной опасности должны включать разработку инструкций по охране труда на каждый вид проводимых работ или их подборку.

Работников, выполняющих работы по замене дефектных участков магистральных нефтепроводов необходимо обеспечить спецобувью, спецодеждой и другими защитными средствами, согласно «Типовым нормам бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам», имеющих соответствующие сертификаты соответствия.

Технические и организационные меры безопасности при подготовке объекта к выполнению работ составляются при разработке ППР и оформлении наряда-допуска на каждый вид работ и место их проведения.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

#### **6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место, его оборудование и оснащение, применяемые в соответствии с характером работы, должны обеспечивать безопасность, охрану здоровья и работоспособность персонала.

В организации должно быть организовано проведение проверок, контроля и оценки состояния охраны и условий безопасности труда.

При обнаружении нарушений норм и правил охраны труда работники должны принять меры к их устранению собственными силами, а в случае невозможности этого прекратить работы и информировать должностное лицо.

В случае возникновения угрозы безопасности и здоровью работников ответственные лица обязаны прекратить работы и принять меры по устранению опасности, а при необходимости обеспечить эвакуацию людей в безопасное место.

Необходимо проведение регулярных инструктажей по технике безопасности и практических занятий для приобретения устойчивых навыков использования необходимых технических средств, СИЗ, приспособлений и соблюдения необходимых мер безопасности в период проведения учебных мероприятий.

Лица, виновные в нарушении настоящих правил, несут ответственность (дисциплинарную, административную или иную) в порядке, установленном действующим законодательством [14, 15, 16].

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						117
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были изучены теоретические основы процессов коррозионных разрушений, выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на возникновение коррозионных процессов, рассмотрены активные и пассивные методы защиты трубопроводов от коррозии, произведен гидравлический расчет трубопровода.

Для того, чтобы обеспечить длительный безаварийный срок службы трубопровода, его наружную поверхность перед укладкой в траншею и засыпкой землей покрывают изоляционным покрытием, предохраняющим металл трубопровода от коррозии. В качестве изоляционного покрытия применяются битумная мастика, наносимая на поверхность трубопровода в расплавленном виде с последующей обмоткой лентами из бумаги, стеклохолста или бризола, а также полимерные пленки. С целью обеспечения лучшей прилипаемости (адгезии) изоляционного покрытия к трубопроводу, его поверхность перед нанесением изоляции подвергается очистке от грязи, окалины и продуктов коррозии. Для того чтобы обеспечить защиту трубопровода от электрохимической коррозии используют станции катодной защиты, электродренажную защиту, а также протекторную защиту.

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Заключение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					<i>118</i>	<i>113</i>
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Противокоррозийная защита трубопроводов и резервуаров: учебник для вузов / М. В. Кузнецов, В. Ф. Новоселов, П. И. Тугунов, В. Ф. Котов. — М.: Недра, 1992. — 237 с
2. Улиг Г. Г., Коррозия и борьба с ней / Г. Г. Улиг, Р. У. Ревин — Л.: Химия, 1989. — 456 с.: ил.
3. Хижняков В. И. Противокоррозийная защита объектов трубопроводного транспорта нефти и газа: учеб. пособие / В. И. Хижняков. — Томск: ТПУ, 2005;
4. Мустафин Ф. М. Защита трубопроводов от коррозии / М. Ф. Мустафин, Л. И. Быков, А. Г. Гумеров и др. // Том 2: Учебное пособие. — СПб.: ООО «Недра», 2007. — 708 с.;
5. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н. Д. Томашов. — М.: АН СССР, 1959. — 250 с.;
6. СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы: строительные нормы и правила;
7. РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии.
8. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
9. ГОСТ 9.032-74 ЕСЗКС. Покрyтия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения;
10. ГОСТ 12.3.008-75 ССБТ. Производство покрытий металлических и неметаллических неорганических. Общие требования безопасности;

					<i>Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной коррозионной активностью</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов О.С.</i>			<i>Список литературы</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Цимбалюк А.Ф.</i>					119	113
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2Б4А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

- 11.РД 39-30-718-82. Методика гидравлического расчета нефтепроводов при перекачке газонасыщенных нефтей;
- 12.СП 36.13330.2012. Свод правил. Магистральные трубопроводы;
- 13.ГОСТ 12.3.016-87 ССБТ. Строительство. Работы антикоррозионные. Требования безопасности
- 14.Федеральный закон № 7-ФЗ. Об охране окружающей среды.
- 15.Федеральный Закон №116. О промышленной безопасности опасных производственных объектов.
- 16.СНиП II-12-77. Нормы проектирования. Защита от шума.

					<i>Список литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		120