

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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 трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»
УДК 622.692.4.053:620.197

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Магомедов М.Р		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Саруев А.Л	к.т.н, доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Т.Г	к.т.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Черемискина М.С	к.т.н, доцент		

### 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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и компетенциями</b>		<b>профессиональными</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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, УК-6, УК-7, ОПК-1, ОПК-2), (ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i).
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7).
<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	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).
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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15).
<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	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).
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазового оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22).
<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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26).

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<b>в области проектной деятельности</b>		
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-е).</i>
<b>Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»</b>		
P9	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".</i>
P10	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>
P11	Оценивать результаты диагностических обследований, мониторингов, технических данных, показателей эксплуатации объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>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".</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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
2Б6А	Магомедову Мураду Рабадановичу

Тема работы:

«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 №59-82/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	
<i>(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.).</i>	Объектом исследования является подземный трубопровод, проложенный в почве с различной коррозионной активностью, на котором ведутся работы по антикоррозионной защите.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучить теоретические основы процессов коррозионных разрушений</li> <li>2. Выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на возникновение коррозионных процессов;</li> <li>3. Рассмотреть методы пассивной и активной защиты трубопроводов от коррозии</li> <li>4. Произвести расчет оптимальных параметров катодной защиты магистрального трубопровода.</li> </ol>
--	---

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

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

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна – доцент
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна - доцент

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**


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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Саруев Алексей Львович	к.т.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Магомедов Мурад Рабаданович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б6А	Магомедов Мурад Рабаданович

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчёт стоимости выполняемых работ, согласно применяемой технологии: Затраты на оборудование: 62500 руб. Материально-технические ресурсы: 255 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Устанавливаются в соответствии с заданным уровнем нормы оплат труда: -30 % премии к заработной плате -20 % надбавки за профессиональное мастерство -1,3 – районный коэффициент для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений, в том числе отчисления во внебюджетные фонды - 30%.

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения поисковых ГРП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциальных потребителей. Анализ конкурентных технических решений. SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета поисковых ГРП	Планирование и выделение этапов проекта. Составление календарного плана проекта. Формирование бюджета НИИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования

поисковых ГРР	
---------------	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		31.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Магомедов Мурад Рабаданович		31.01.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b> 2Б6А	<b>ФИО</b> Магомедов Мурад Рабаданович
-----------------------	---

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Тема ВКР:

Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Защита магистрального нефтепровода от различной коррозионной активности. Область применения: Линейная часть магистрального нефтепровода.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. 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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.</li> <li>2. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</li> <li>3. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</li> <li>4. Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 16.12.2019)</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>2. Превышение уровней шума</li> <li>3. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> <li>4. Превышение уровней</li> </ol>



	<p>вибрации</p> <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрический ток</li> <li>2. Взрывоопасность и пожароопасность</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Атмосфера: строительство и эксплуатация объектов нефтедобычи связаны с выделением загрязняющих веществ в атмосферный воздух;</p> <p>Гидросфера: попадание загрязняющих веществ, таких как нефть, масла, растворители;</p> <p>Литосфера: уничтожение и повреждение почвенного слоя, сельхозугодий и других земель. Загрязнение нефтепродуктами, химреагентами.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв или утечка.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б6А	Магомедов Мурад Рабаданович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.03.2020	Введение	10
25.03.2020	Общие сведения о коррозии стальных сооружений	20
11.04.2020	Анализ способов защиты от коррозии	20
20.04.2020	Проведение расчетов	15
07.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.05.2020	Социальная ответственность	10
18.05.2020	Заключение	5
25.05.2020	Презентация	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Саруев А.Л	к.т.н, доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 140с., 18 рис., 23 табл., 14 источников, 0 прил.

Ключевые слова: коррозия, изоляция, магистральный трубопровод, грунт, сооружения.

Объектом исследования является магистральный трубопровод.

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

В процессе исследования проводилось: 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 исследования: произведен расчет оптимальных параметров катодной защиты магистрального трубопровода.

Область применения: линейная часть магистрального трубопровода

Экономическая эффективность/значимость работы расчет затрат на изоляцию трубопровода.

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Магомедов</i>			<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Саруев А.Л</i>					<i>11</i>	<i>140</i>
<i>Консульт.</i>						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	15
1. КОРРОЗИЯ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА.....19	
1.1. Классификация коррозионных процессов.....	19
1.2. Виды коррозионных разрушений .....	21
1.3. Способы защиты стальных сооружений от коррозии .....	32
1.4. Грунт как коррозионная среда	36
1.5. Подземная коррозия стальных сооружений .....	42
2. КАТОДНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....51	
2.1. Принципиальная схема катодной защиты трубопроводов	51
2.2. Анодное заземление.....	53
2.2.1. Виды анодных заземлителей .....	53
2.2.2. Глубинные анодные заземлители.....	61
2.2.3. Заменяемые заземлители .....	63
2.2.4. Факторы, влияющие на работу анодного заземления .....	65
3. ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ..... 68	
3.1. Принцип работы протекторной защиты .....	68
3.2. Конструкция протекторов .....	71
4. ЭЛЕКТРОДРЕНАЖНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ .....	
4.1. Принцип работы электродренажной защиты .....	76
4.2. Установки электродренажной защиты .....	81
5. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ..... 84	
5.1. Назначение изоляционных покрытий .....	84
5.2. Конструкции изоляционных покрытий .....	84

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Магомедов</i>			<b>Содержание</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Саруев А.Л</i>				1	12	140
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>				<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		

5.3. Контроль качества изоляционных покрытий .....	92
6. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА.....	96
7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	103
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности ресурсосбережения.....	103
7.1.1 Потенциальные потребители результатов .....	103
7.1.2 Анализ конкурентных решений .....	104
7.1.3 SWOT-анализ.....	106
7.2 Планирование исследовательской работы в рамках ВКР .....	108
7.2.1 Структура работ в рамках исследования .....	108
7.2.2 Определение трудоемкости работ .....	109
7.2.3 Разработка графика проведения исследовательской работы.....	110
7.3 Бюджет проводимого исследования.....	113
7.3.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	114
7.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	115
7.3.3 Расчет затрат на оплату труда.....	116
7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей .....	118
7.3.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды .....	119
7.3.6 Расчет накладных расходов.....	120
7.3.7 Формирование бюджета затрат научно- исследовательской работы.....	120
7.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, Экономической эффективности исследования .....	121
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	125

					Содержание	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	125
8.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	125
8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	126
8.2 Производственная безопасность .....	127
8.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов .....	127
8.3 Анализ вредных факторов и мероприятия по их устранению .....	128
8.3.1 Загазованность воздушной среды.....	128
8.3.2 Превышение уровней шума .....	129
8.3.3 Недостаточная освещенность .....	130
8.3.4 Превышение уровней вибрации .....	130
8.4 Опасные производственные факторы.....	131
8.4.1 Электрический ток .....	131
8.4.2 Взрывоопасность и пожароопасность .....	132
8.5 Экологическая безопасность.....	134
8.5.1 Защита атмосферы.....	134
8.5.2 Защита гидросферы .....	134
8.5.3 Защита литосферы .....	135
8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	135
9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	138
10. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	139

## ВВЕДЕНИЕ

Для написания своей выпускной квалификационной дипломной работы я выбрал тему антикоррозийной защиты газонефтепроводов, поскольку считаю коррозию одной из важнейших проблем нефтяной и газовой промышленности. В процессе работы я рассмотрел виды, механизм, термодинамику, кинетику электрохимической коррозии, назначение и конструкции изоляционных покрытий и т. д.

Коррозией называют самопроизвольное разрушение металлов в результате их химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой (произошло от лат. *corrosio* – разъедание). Коррозию железоуглеродистых сплавов обычно называют ржавлением, что связано с тем, что в состав продуктов их коррозии входят гидратированные оксиды железа (ржавчина). Цветные металлы, в составе продуктов коррозии которых оксиды железа отсутствуют, корродируют, но не ржавеют. Коррозия наносит значительный ущерб трубопроводному транспорту нефти и газа. Срок эксплуатации объектов трубопроводного транспорта нефти и газа во многом определяется степенью их противокоррозийной защиты. В области трубопроводного транспорта нефти и газа выделяются три аспекта противокоррозийной защиты:

- 1) экономический, имеющий целью уменьшить убытки, складывающиеся из стоимости труб и других металлических конструкций, пришедших в негодность вследствие коррозионного разрушения;

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Магомедов</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Саруев А.Л</i>					15	140
<i>Консульт.</i>						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

- 2) повышение надежности оборудования, которое в результате коррозии может разрушиться с катастрофическими последствиями, например, вследствие разгерметизации магистральных нефтегазопроводов 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.

Экономические потери в трубопроводном транспорте нефти и газа по причине коррозии продолжают оставаться недопустимо большими. Безвозвратные потери металла в нашей стране по причине коррозии за год достигают 8%, что приводит к тому, что каждая пятая домна страны работает на коррозию. Стальные конструкции разрушаются под действием химической или электрохимической коррозии. Поэтому борьба с коррозией металлов (резервуаров, трубопроводов, другого оборудования) является важнейшей проблемой трубопроводного транспорта, решение которой позволит сберечь материальные ресурсы (сталь, нефтепродукты) и обеспечить экологическую безопасность эксплуатации объектов трубопроводного транспорта нефти и газа.

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

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



Подземные стальные сооружения защищают также с помощью катодной (протекторной) и дренажной защиты. Применение электрозащиты подземных стальных сооружений почти полностью устраняет коррозионное разрушение. При относительно небольших затратах (стоимость устройств электрозащиты не превышает 1% стоимости защищаемого объекта) удастся значительно продлить срок службы стального сооружения. Одним из первых объектов, где впервые были применены катодные установки с внешним источником тока, был нефтепровод Баку – Батуми. Затем катодная защита была осуществлена на газопроводах Саратов – Москва, Дашава – Киев и нефтепроводе Гурьев – Орск. С 1975 года подземные стальные сооружения без средств катодной защиты в эксплуатацию не принимаются. Противокоррозийная защита объектов трубопроводного транспорта нефти и газа в России в настоящее время осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51164 – 98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии».

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.

Наука о коррозии изучает механизм и закономерности процессов взаимодействия металлов с окружающей средой, разрабатывает способы защиты металлов от коррозии в различных условиях.

Исключительное значение для обоснования электрохимического механизма коррозии имели работы выдающегося ученого М. Фарадея, установившего закон электролиза. М. Фарадей предложил важнейшее для дальнейшего развития электрохимической теории коррозии соотношение между анодно – растворяющегося металла и количеством протекающего электричества, а также высказал предположение о пленочном механизме пассивности железа и электрохимической сущности процессов растворения

					Введение	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

металлов. В 1830 году швейцарский физико – химик О. де ля Рив сформулировал представления об электрохимическом характере коррозии (он объяснил растворение цинка в кислоте действием микрогальванических элементов). Русский ученый Н. Н. Бекетов (1865 год) исследовал явление вытеснения из раствора одних металлов другими. Д. И. Менделеев в 1869 году открыл периодический закон элементов, который имеет очень важное значение для оценки и классификации коррозионных свойств различных металлов. Важен вклад шведского физика – химика С. Аррениуса, сформулировавшего в 1887 году теорию электролитической диссоциации и немецкого физико – химика В. Нернста, опубликовавшего в 1888 году теорию электродных и диффузионных потенциалов.

										Лист
										18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

# 1. КОРРОЗИЯ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА

## 1.1. Классификация коррозионных процессов

Трубопроводный транспорт нефти и газа на воздухе, под землей и под водой подвержен в основном электрохимической коррозии. Химическая коррозия в трубопроводном транспорте встречается существенно реже.

Электрохимическая коррозия подчиняется законам электрохимической кинетики и представляет собой окисление железа в электропроводных средах, сопровождающееся образованием и протеканием электрического тока. При этом скорость коррозии трубной стали с окружающей средой характеризуется как катодным, так и анодным процессами, протекающими на различных участках корродирующей поверхности. Продукты коррозии образуются только на анодных участках. Электрохимический механизм коррозионного разрушения стальных сооружений подразделяется на следующие виды:

- 1) почвенная коррозия – разрушение подземных металлических сооружений под воздействием почвенного электролита.

Защита магистральных трубопроводов от почвенной коррозии осуществляется катодной поляризацией поверхности трубы установками катодной защиты (автоматическими и неавтоматическими);

- 2) электрокоррозия – разрушение металлического подземного сооружения, вызванное блуждающими токами, например, стекающими с рельсов электрифицированного железнодорожного транспорта или других промышленных электроустановок, имеющих заземление;

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Магомедов			Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Саруев А.Л					19	140
Консульт.						<b>ТПУ гр.2Б6А</b>		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

- 3) атмосферная коррозия – разрушение металла в атмосфере воздуха или среде любого важного газа;
- 4) контактная коррозия – коррозия, вызванная электрическим контактом двух разнородных или однородных металлов, имеющих различный электрохимический потенциал (например, электродвижущая сила коррозионного гальванического элемента, вызванная гетерогенностью структуры стенки трубы в области поперечных и продольных сварных швов).

Особо следует отметить микробиологическую коррозию сталей – частный случай почвенной коррозии, протекающей под воздействием микроорганизмов, в результате жизнедеятельности которых образуются вещества, ускоряющие коррозионные процессы (например, ускорение коррозии железа в грунтах с сульфатредуцирующими бактериями).

Как было уже сказано, для большинства углеродистых и низколегированных сталей, эксплуатирующихся в атмосфере, морской и речной воде, а также в почве, характерна электрохимическая коррозия. Помимо перечисленных видов возможны также коррозия под напряжением (при одновременном воздействии коррозионной среды и механических напряжений в стенке трубы); щелевая коррозия – ускорение коррозионного разрушения стального сооружения электролитом в узких зазорах и щелях (в трещинах, резьбовых и фланцевых соединениях); коррозионная эрозия – при одновременном действии коррозионной среды и трения; кавитационное коррозионное разрушение стальной поверхности – при одновременном коррозионном и ударном воздействии окружающей среды (например, разрушение лопаток рабочих колес центробежных насосов).

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 1.2. Виды коррозионных разрушений

Процесс коррозии подземного стального сооружения начинается с поверхности, контактирующей с коррозионно – активной внешней средой, и характеризуется скоростью проникновения коррозии в структуру металла. При этом изменяется внешний вид изделия, на его поверхности образуются коррозионные язвы и пятна, заполненные продуктами коррозии. По характеру коррозионного разрушения металлов различают следующие виды коррозии:

- 1) сплошная – разрушение стального сооружения равномерно по всей поверхности, находящейся под воздействием коррозионной среды;
- 2) местная – разрушение стального сооружения на отдельных участках.

Из перечисленных видов коррозии мне бы хотелось подчеркнуть, что 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. Наиболее распространенной является неравномерная коррозия, протекающая с неодинаковой скоростью на различных участках поверхности стального сооружения (коррозия подземных трубопроводов). Наиболее опасными являются местные коррозионные разрушения, которые подразделяются на семь основных видов:

- 1) пятнами – в виде отдельных пятен, диаметр которых больше глубины прокорродировавшего слоя металла (например коррозия латуни в морской воде);
- 2) язвенная – в виде отдельных каверн, диаметр которых примерно равен их глубине (коррозия углеродистой стали в почве);
- 3) точечная (питтинговая) – в виде множества отдельных точек диаметром 0,1 – 2мм значительной глубины.

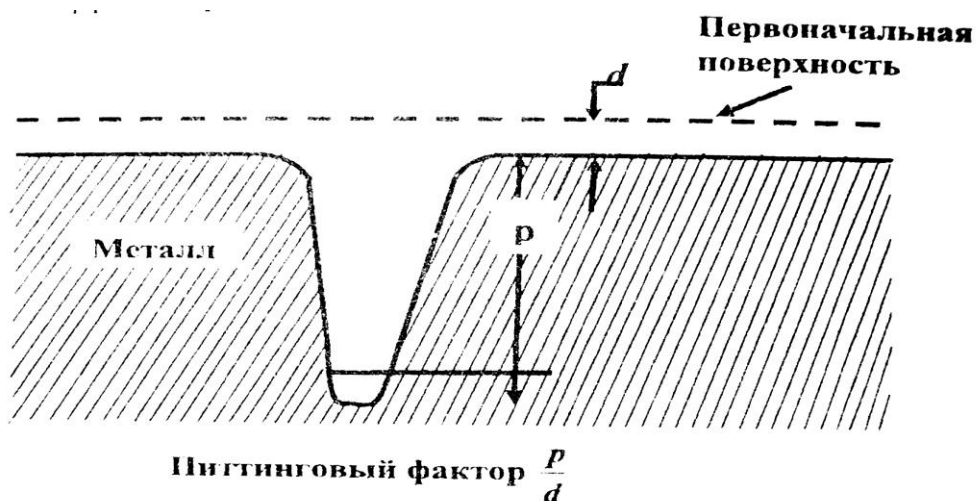
					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Питтинговая коррозия часто переходит в сквозную, является причиной разгерметизации подземного трубопровода или резервуара;

- 4) подповерхностная, начинающаяся с поверхности, но распространяющаяся преимущественно под поверхностью металла и часто вызывающая вспучивание металла и его расслоение (например, образование пузырей на поверхности листового металла на воздуховодах и других сооружениях);
- 5) структурно – избирательная, при которой разрушается главным образом только структурная составляющая сплава (например, графитизация чугуна или обесцинкование латуни);
- 6) межкристаллитная, распространяющаяся по границам кристаллов металла (этот вид коррозии является очень опасным, так как протекает без изменения внешнего вида стального сооружения, что приводит к быстрой потере прочности и пластичности);
- 7) коррозионное растрескивание – образование коррозионных трещин вследствие усталости металла под действием постоянных растягивающих напряжений. При этом виде разрушений коррозионная трещина может распространяться не только по границам зерен, т. е. межкристаллитно, но и через непосредственно кристаллы, т. е. транскристаллитно.

Питтингом называют разрушения локального типа, наблюдаемые в тех случаях, когда скорость коррозии на одних участках выше, чем на других. Если значительное разрушение сосредоточено на относительно малых участках корродирующей поверхности, то возникают глубокие точечные поражения; если площадь разрушения больше и глубина невелика – возникают язвенные поражения. Глубину питтинга обычно характеризуют питтинговым фактором. Это отношение максимально наблюдаемой глубины проникновения коррозии к средней глубине проникновения коррозии, определенной на основе экспериментальных исследований. Питтинговый фактор, равный единице, соответствует равномерной коррозии (рис. 1).

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22



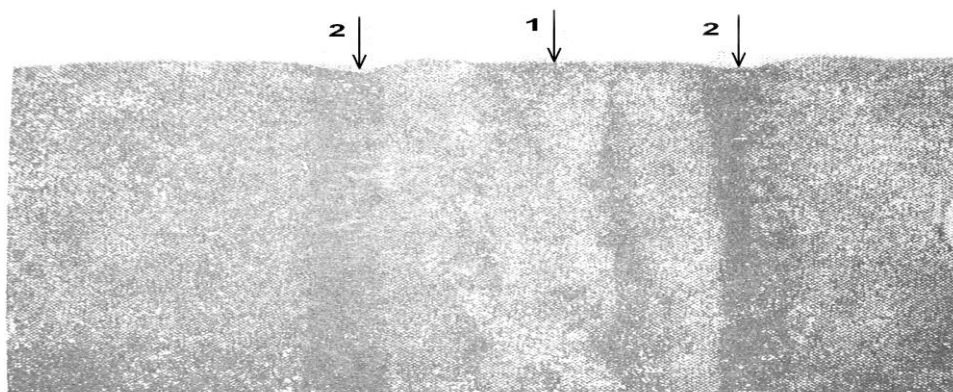
**Рис. 1.** Схема, поясняющая физический смысл питтингового фактора

Фреттинг – коррозия возникает вследствие вибрационных смещений стальных контактных поверхностей друг относительно друга. Обычно коррозия этого типа сопровождается появлением питтингов на контактирующих поверхностях.

Кавитационная эрозия является результатом образования и схлопывания пузырьков газа на динамической поверхности раздела металл – жидкость. Она вызывает ряд питтингов, иногда сети трещин.

Коррозионное растрескивание сталей под напряжением (КРН) возникает при одновременном воздействии растягивающих напряжений и коррозионной среды.

Низкоуглеродистая сталь в почвенных условиях корродирует с образованием мелких язв, коррозия нержавеющей стали в морской воде сопровождается, как правило, образованием глубоких питтингов. Основной причиной образования питтингов является электрохимическая гетерогенность стальной конструкции, например, в области сварного шва.



**Рис. 2.** Коррозионное разрушение стальной конструкции в области сварного шва:  
 1 – сварной шов; 2 – коррозионное разрушение в околошовной зоне

Коррозионное разрушение стальной конструкции в области сварного шва, представленное на рис. 2, 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 преимущественное 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.

Межкристаллитная коррозия – это локальное коррозионное разрушение по границам зерен, приводящее к потере прочности и пластичности стали. Межзеренное вещество, действующее как анод, контактирующей с развитой поверхностью самих зерен, является катодом. Межкристаллитная коррозия протекает интенсивно, глубоко проникая в структуру стали и приводя к катастрофическим разрушениям находящегося в эксплуатации оборудования.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



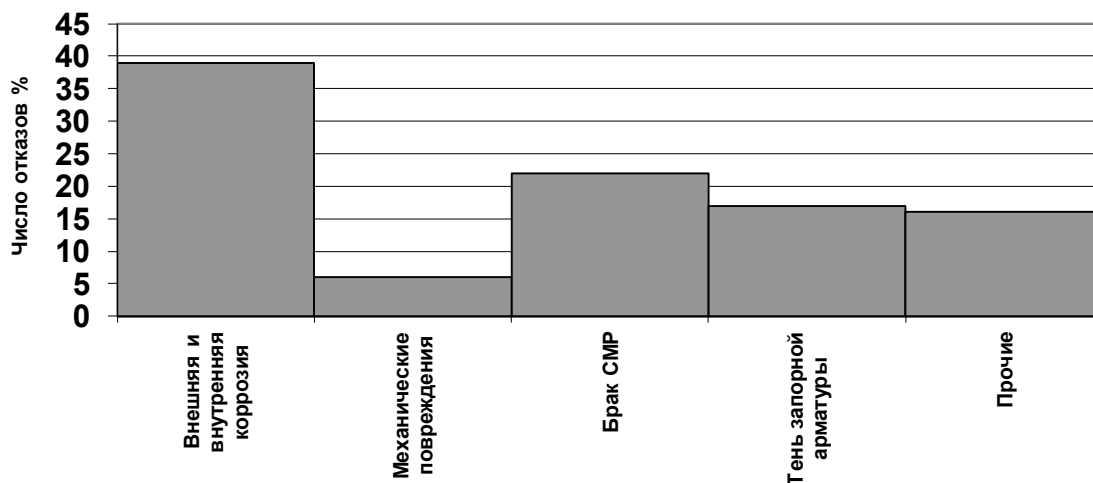
Растрескивание металла под действием пульсирующих или растягивающих напряжений в контакте стальной поверхности с коррозионной средой называют коррозионной усталостью. Если внутреннее напряжение в стальной конструкции не превышает критического значения, называемого пределом усталости, то вне коррозионной среды сталь будет разрушаться при значительно большем числе циклов нагружения. 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 определенное время, это разрушение, как было указано выше, называется коррозионным растрескиванием под напряжением (КНР). 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:  $H_2O + 4e = 2H_{адс} + OH$  при чрезмерно завышенных потенциалах катодной защиты. Поэтому величина поляризационного потенциала при катодной защите трубопроводов не должна превышать 1,1 В по м. э. с.

Проведенный статистический анализ отказов по линейной части магистральных газонефтепроводов показал, что основными причинами является наружная и внутренняя коррозия (рис. 3).

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.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



**Рис. 3.** Основные причины отказов на линейной части магистральных нефтегазопроводов

На рис. 4 представлена динамика аварийности на газопроводах России (всех диаметров) по причине наружной коррозии и стресс – коррозии. Эти данные наглядно показывают, что по мере старения трубопроводного транспорта страны, число аварий, связанных с наружной коррозией и стресс – коррозионными разрушениями трубопроводов, возрастает. Следует отметить, что причины стресс – коррозионного разрушения газонефтепроводов и их диагностика до настоящего времени остаются малоизученными.



**Рис. 4.** Динамика аварийности на магистральных нефтегазопроводах России (всех диаметров) по причине наружной коррозии и стресс – коррозии

По мере старения магистральных нефтегазопроводов стресс – коррозия превращается в проблему номер один. Так, до 1990 года число ЧП по этой причине не превышало 10% от всех аварий. За последние 5 лет число таких аварий достигло 38%.

На сегодняшний день практика эксплуатации подземных нефтегазопроводов 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. На приведенной диаграмме показано соотношение коррозионных и стресс – коррозионных отказов на линейной части магистральных нефтегазопроводов. Данные динамики аварийности показывают, что по мере старения трубопроводного парка страны, более половины коррозионных отказов на магистральных нефтегазопроводах связано со стресс - коррозионными разрушениями. Данные свидетельствуют о том, что стресс - коррозионные отказы с возрастом трубопровода имеют тенденцию к возрастанию.

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 проблемой стресс - коррозии начали заниматься с 1983 года. С этого времени начался учет отказов трубопроводов по этой причине. Характерный признак разрушений нефтегазопроводов по причине стресс - коррозии - отсутствие явных следов коррозионных повреждений поверхности труб в сочетании с трещинами различных формы и вида в очаге разрушения и на прилегающих к нему участках.

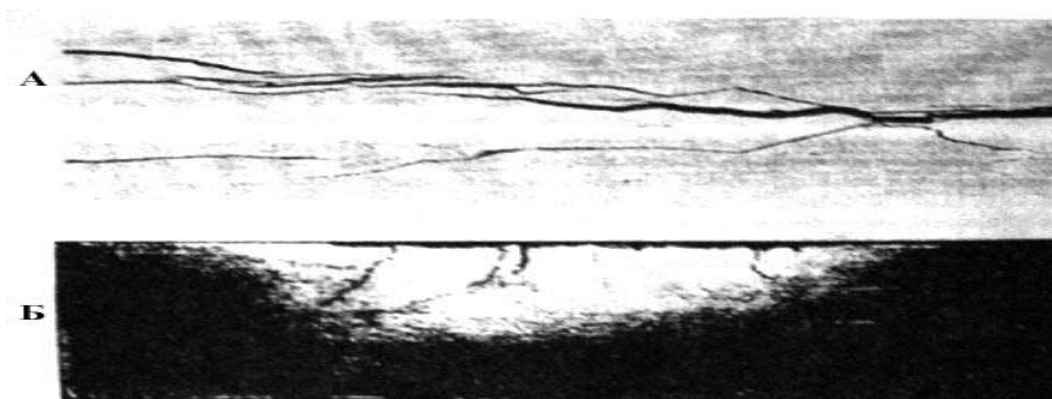
					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Я считаю необходимым особо подчеркнуть тот факт, что истинные масштабы поражения магистральных нефтегазопроводов стресс - коррозией были раскрыты в последнее время, после детального анализа отказов на нефтегазопроводах, анализа результатов внутритрубной диагностики и коррозионного обследования действующих нефтегазопроводов в шурфах. 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 нефтегазопроводов в России и значительными сроками их эксплуатации вызывает беспокойство возрастающая аварийность на нефтегазопроводах по причине стресс – коррозии. Так, до 1990 года доля отказов газопроводов России из – за КРН и связанных с ними потерь газа не превышали 10% от общего числа. За последние пять лет 2000 – 2005 гг. число отказов по этой причине достигают 42% от общего числа отказов, а потери газа и экономический ущерб от них превысили 50% от общего ущерба.

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



					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

**Рис. 5.** Стенка трубопровода, подверженная стресс – коррозии со стороны катодно – защищаемой поверхности: А – вид в плане; Б – вид в профиль

Потенциальными источниками водорода служат различные химические соединения, такие как: сероводородосодержащий газ, вода, карбонатные и нитратные соединения, сульфатредуцирующие бактерии и так далее, которые под влиянием внешнего электрического поля катодной защиты разлагаются с выделением свободных ионов водорода. Ионы водорода на катодно – защищенной поверхности трубопровода под действием тока катодной защиты восстанавливаются до атомов  $H^+ + e \rightarrow H_{adc}$ . Адсорбированные на катодно – защищаемой поверхности атома водорода образуют с железом твердый раствор внедрения. Атом водорода, поглощенный ионной трубой, превращается в протон, а его электрон входит в состав электронного газа. Параметр кристаллической решетки равен 0,00000008 см, а протон имеет размер 0,0000000000013 см, то есть в 10000 раз меньше. В дефектах кристаллической структуры атомы водорода рекомбинируют в молекулы, размер которых превышает параметр кристаллической решетки, поэтому дефекты кристаллической решетки являются «ловушками» для водорода.

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 подрастанию образовавшейся трещины. Колонии таких трещин

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

с течением времени приводят к стресс – коррозионному разрушению трубопровода.

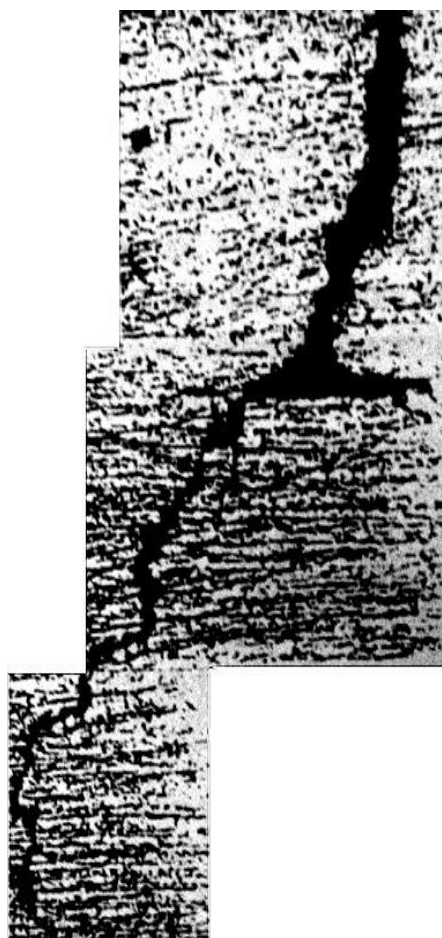
Стимулятором образования стресс – коррозионных трещин является в том числе и неправильно выбранный режим катодной защиты (рис. 5). Действительно, в режиме перезащиты на внешней катодно–защищаемой поверхности трубопровода протекает катодное разложение воды с образованием водорода. Выделяющийся при реакции водород частично молизуется, образует пузырьки газа и уходит в коррозионную среду, а частично адсорбируется на поверхности металла и какое – то время пребывает в ней в атомарном состоянии. Некоторое количество водорода за это время успевает диффундировать в металл и раствориться в нем, либо относительно равномерно, «напрягая структуру», либо неравномерно, образовав локальные скопления, так называемые блистеры в дефектах структуры.

Стресс–коррозионное растрескивание особенно опасно для сооружений, находящихся под нагрузкой (трубопроводы для транспорта нефти и газа, 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. 6 показана

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

стресс – коррозионная трещина со стороны катодно – защищаемой поверхности трубопровода.

Наиболее вероятным механизмом, объясняющим общий ход развития стресс–коррозионной трещины со стороны внешней катодно – защищаемой поверхности трубопровода, является наводораживание пластической зоны стенки трубы на некотором расстоянии перед вершиной трещины, где в дислокациях (ловушках) кристаллической решетки стенки трубы давление молекулярного водорода, вызванного электролитическим насыщением, достигает и превышает временное сопротивление трубной стали.



*Рис. 6. Стресс–коррозионная трещина, образовавшаяся в процессе эксплуатации катодно – защищаемого трубопровода*

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.

### 1.3. Способы защиты стальных сооружений от коррозии

Скорость коррозии в значительной степени зависит от совместного действия всех факторов, влияющих на течение коррозионного процесса. Изменение состава окружающей среды может замедлить или ускорить коррозию. Так, ионы  $\text{Cl}^-$  в ряде случаев увеличивают скорость коррозии, так как при наличии ионов хлора образуется растворимая соль  $\text{FeCl}_2$ , которая в отличие от гидроксида  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , не образует на корродирующей поверхности защитной пленки. В том же направлении действуют и ионы металлов с переменной валентностью:  $(\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+} + e)$ . Другие вещества (ингибиторы) замедляют процесс коррозии. Температура окружающей среды (грунта) также способствует изменению скорости коррозии, которая увеличивается с ростом температуры и наоборот. Отсюда следует, что при прокладке трубопроводов в мерзлых грунтах скорость коррозии невелика, но она резко увеличивается при их оттаивании.

Срок службы конструкций трубопроводного транспорта нефти и газа в естественных условиях окружающей среды часто относительно короткий. Продлить его можно четырьмя основными способами, которые широко используются в трубопроводном транспорте нефти и газа:

- 1) изоляцией стального сооружения от контакта с внешней агрессивной средой;
- 2) использованием коррозионно - стойких сталей;
- 3) воздействием на окружающую среду с целью снижения ее агрессивности;
- 4) применением электрохимической защиты подземных стальных сооружений.

Первый способ носит название пассивной защиты. Он предусматривает:

а) нанесение на поверхность стального сооружения слоя химически инертного относительно стали и окружающей агрессивной среды вещества с высокими диэлектрическими свойствами. В качестве защитных материалов применяют различного рода мастики, краски, лаки, эмали, пластмассы. Эти

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



материалы жидкие в процессе нанесения, затем высыхают, образуя твердую пленку, которая обладает достаточной прочностью и хорошим сцеплением (адгезией) с поверхностью защищаемого стального сооружения. К этому методу следует отнести также и специальные методы укладки, часто применяемые для защиты подземных сооружений на территории городов и промышленных площадок, например коллекторную прокладку, при которой подземные трубопроводы размещают в специальных каналах. Изолирующим слоем в данном случае является воздушный зазор между стенкой трубопровода и каналом. Применение защитного слоя на стальных сооружениях – наиболее распространенный метод;

б) обработку изделий специальными растворами, в результате чего на стальной поверхности образуется слой малорастворимых солей. Примером может служить образование нерастворимых фосфатов на поверхности стальных изделий (фосфатирование) или оксида алюминия на изделиях из алюминиевых сплавов. Обработка поверхности стальных изделий растворами пассиваторов производится для перевода поверхностного слоя стали из активного состояния в пассивное, при котором резко уменьшается переход ионов железа в раствор и тем самым снижается интенсивность коррозионного процесса;

в) нанесение на изделие из малостойкого металла (обычно углеродистые стали) тонкого слоя другого металла, обладающего меньшей скоростью коррозии в данной среде (например, цинкование, хромирование или никелирование стальных изделий).

Второй способ защиты – введение в сталь компонентов, повышающих ее коррозионную стойкость в данных условиях, или удаление вредных примесей, ускоряющих коррозию. Он применяется на стадии выплавки стали, а также при термической и механической обработке стальных деталей. Во многих случаях легирование металла, мало склонного к пассивации металлом, легко пассивируемым в данной среде, приводит к образованию

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

сплава, обладающего той же (или почти той же) пассивируемостью, что и легирующий металл.

Таким путем получены многочисленные коррозионно – стойкие сплавы, например нержавеющие стали, легированные хромом и никелем. Широкое внедрение этого способа сдерживается высокой стоимостью нержавеющих металлов. Сюда же относят использование неметаллических материалов, обладающих высокой химической стойкостью (асбоцемента, бетона, керамики, стекла, пластмассы и т. д.).

Третий способ защиты от коррозии предусматривает дезактивационную обработку агрессивной среды введением ингибиторов (замедлителей) коррозии. Действие ингибиторов сводится в основном к адсорбции на поверхности металла молекул или ионов ингибитора, тормозящих коррозию. К этому способу можно отнести и удаление агрессивных компонентов из состава коррозионной среды (деаэрация водных растворов, очистка воздуха от примесей, его осушка и т. д.).

Обработка коррозионной среды различными ядохимикатами позволяет значительно снизить интенсивность деятельности микроорганизмов, что уменьшает опасность биокоррозии металлов.

При борьбе с подземной коррозией осуществляется обработка агрессивного грунта с целью обеспечения его гидрофобизации (несмачиваемости водой), нейтрализация щелочами или кислотами и частичная замена на менее агрессивный грунт или специальную засыпку. Последнее мероприятие может рассматриваться как изоляция металла от прямого воздействия среды.

Четвертый способ носит название активной защиты, осуществляемый на практике следующими способами:

- 1) постоянной катодной поляризацией стального сооружения, эксплуатирующегося в среде достаточно большой электропроводностью. Такая поляризация, осуществляемая от внешнего источника электрической энергии, носит название

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

катодной защиты. При катодной защите на подземное стальное сооружение подается отрицательный потенциал, что приводит к снижению его скорости коррозии до значений, как правило, не превышающих 0,01мм/год;

- 2) катодной поляризацией, вызванной электрическим контактом сооружения с металлом, обладающим более отрицательным электродным потенциалом, например стального сооружения с отливками из магниевых сплавов. Более электроотрицательный металл (магний) в среде с достаточно высокой электропроводностью подвергается разрушению и его следует периодически возобновлять. Такой металл называется протектором, а метод – протекторной защитой (от латинского protector – защитник);
- 3) анодной поляризацией, которая в некоторых случаях способствует поддержанию пассивного состояния стали в средах (например, кислотах), являющихся весьма агрессивными.

Мероприятия по борьбе с блуждающими токами осуществляются по двум основным направлениям: предупреждение или уменьшение возможности возникновения блуждающих токов на самом источнике тока и проведение специальных работ на защищаемом подземном сооружении по отводу блуждающих токов. Мероприятия первого направления – обязательные, но только начальная мера. Независимо от этого вида работ обязательно производится защита самих подземных сооружений: использование изолирующих современных покрытий, устройство электрических экранов, установка изолирующих фланцев (соединений) на трубопроводах, укладка трубопроводов в подземных коллекторах и каналах, электродренажная защита, катодная поляризация и др.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 1.4. Грунт как коррозионная среда

Грунтом называются горные породы, расположенные на глубине 1,5м и более от поверхности; верхний слой горных пород (от 0 до 1,5м) называется почвой. Подземные нефтегазопроводы как магистральные, так и технологические укладываются, как правило, ниже глубины промерзания грунта, на глубину до 2,5м. Горные породы в этом слое естественно изменены совместным влиянием воды, воздуха, деятельностью различного рода организмов и растений. Обычно почвы классифицируют исходя из их зонального размещения.

Грунт представляет собой многофазную, дисперсную систему, в которой составляющие вещества находятся в твердом, жидком и газообразном состояниях. В реальных условиях равновесия между этими фазами не наблюдается. Это обусловлено прежде всего тем, что в грунте происходит непрерывный перенос тепла, почвенного электролита и воздуха, связанный с непостоянством условий на дневной поверхности. Этот процесс характеризует несоблюдение условий термодинамического равновесия в вертикальном направлении. Коррозионный процесс в грунтах, в отличие от электролитов со свободной конвекцией, имеет свою специфику и определяется как составом почвенного электролита зоны аэрации, где обычно прокладываются трубопроводы, так и размером твердых частиц грунта.

Твердая часть грунта состоит в основном из минералов с размерами от нескольких сантиметров (галька) до долей микрона (коллоидные фракции). Непосредственно в коррозионном процессе твердая основа грунта участия не принимает, однако, она оказывает определяющее влияние на физико-механические свойства грунта и это влияние тем сильнее, чем меньше размер частиц и, следовательно, чем больше суммарная поверхность частиц, содержащихся в единице объема грунта. Существует мнение, что именно физико-механические, а не химические свойства грунта в основном влияют на скорость коррозии подземных стальных сооружений.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Особенно большое влияние на физико-механические свойства грунтов оказывают коллоидные фракции (размер частиц меньше 0,25мкм), илистые частицы (размер 0,25 – 1мкм) и, в меньшей степени, пылеватые частицы (размер 1 – 10мкм).

Третья составляющая часть грунтов – газообразная. Порový воздух грунта находится в непосредственном взаимодействии с поровым электролитом.

Растворяясь в воде, вещества, содержащиеся в воздухе, в той или иной мере принимают участие в коррозионном процессе. Важнейшим компонентом порового воздуха является кислород, выступающий как основной окислитель при коррозии подземных сооружений. Состав порового воздуха зависит, с одной стороны, от соотношения между потреблением кислорода и образованием углекислоты, с другой – от интенсивности воздухообмена с атмосферой. В поровом воздухе содержится значительное количество молекул воды. Влажность порового воздуха практически во всех случаях близка к 100%, поэтому корродирующая поверхность трубопровода в грунте практически всегда покрыта пленкой влаги. По порам грунта, свободным от конденсированной влаги, происходит перемещение воды 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. 1 видно, что по мере увеличения пористости или уменьшения влажности грунта концентрация кислорода в грунте увеличивается.

Концентрация кислорода в почвенном электролите грунта в зоне аэрации где, как правило, прокладываются магистральные и технологические нефтегазопроводы, 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 практически в 10 раз. Подземные нефтегазопроводы практически всегда покрыты пленкой влаги, поэтому увеличение концентрации кислорода в грунте приводит к прямо

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

пропорциональному увеличению скорости коррозии подземных нефтегазопроводов.

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).

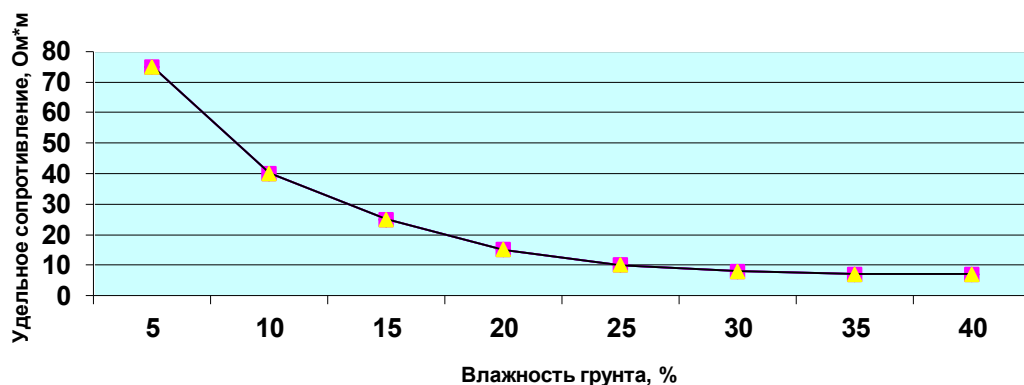
**Таблица 1**

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, %
				Расчетная	Экспериментальная	
1	2	3	4	5	6	7
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

Под удельным электрическим сопротивлением грунта принято понимать сопротивление протеканию электрического тока в условном грунтовом проводнике площадью поперечного сечения  $1\text{м}^2$  и длиной 1м. Удельное электрическое сопротивление грунта зависит от влажности грунта и содержания солей в почвенном электролите. Оно значительно снижается по мере увеличения влажности (рис. 7).

Из графика, представленного на рис. 7, 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.



**Рис. 7.** Зависимость удельного сопротивления песчано-глинистого грунта от влажности

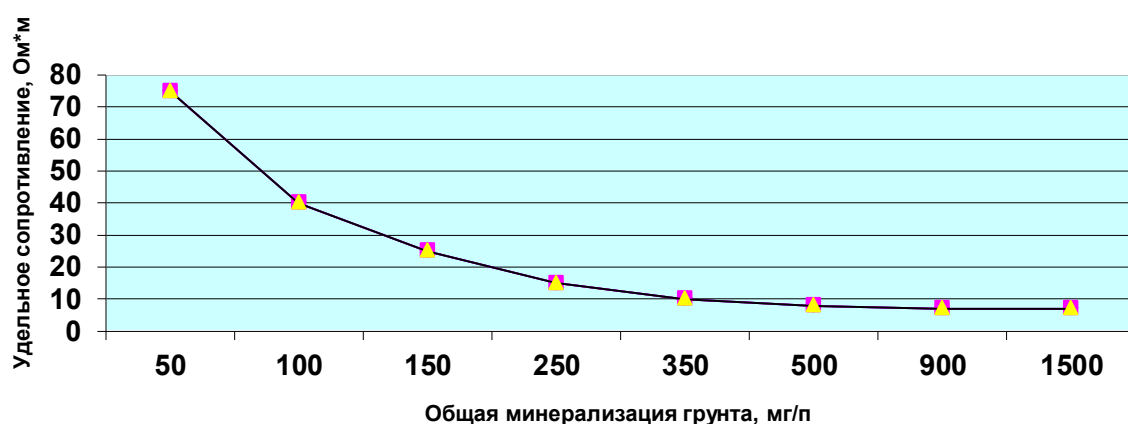
Удельное сопротивление грунта вдоль трассы магистрального нефтегазопровода изменяется в широких пределах. В зимний период, когда грунт промерзает, его удельное электрическое сопротивление резко возрастает. Промерзание верхнего слоя грунта увеличивает его сопротивление в несколько раз. Сопоставление удельного сопротивления талого и мерзлого грунта представлено в табл. 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 2**

*Удельное сопротивление талых и мерзлых грунтов*

Тип грунта	Состояние грунта	
	Талый грунт	Мерзлый грунт
1	2	3
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 (рис. 8). Экспериментальные результаты, представленные на рис. 8, 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  $9 - 6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , 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  $\rho = 1 - 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .



**Рис. 8.** Зависимость удельного сопротивления песчано-глинистого грунта от общей минерализации грунтового электролита

Между удельным электрическим сопротивлением грунта и опасностью коррозии в определенных границах существует прямая зависимость: чем меньше  $\rho$ , тем больше возможность коррозии. Исходя из этой зависимости, можно оценивать коррозионную активность почв.

Следует отметить, что удельное сопротивление грунта отражает степень его коррозионной активности неоднозначно.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



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 формируется растворением минеральных солей, содержащихся в твердой основе грунта, деятельностью микроорганизмов, а также протекающими в грунте биохимическими процессами. 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. В табл. 1 в качестве примера приведен состав почвенного электролита грунтов Среднеобского региона. Просачивающиеся атмосферные осадки перемещают из верхних слоев грунта в нижние минеральные и органические водорастворимые соли. Простые катионы и анионы в почвенно-грунтовом электролите характеризуются коэффициентом диффузии, равным  $(0,5...2) \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup> при температуре 25°С. Эффективный коэффициент диффузии кислорода в грунте, характеризующий условие доставки его к корродирующей поверхности трубопровода, также зависит от влажности грунта (табл. 3).

Таблица 3

Влияние влажности грунтов на эффективный коэффициент диффузии кислорода

Тип грунта	Влажность, %	ЭКДК
1	2	3
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	$13,1 \pm 2,49$
	100	$8,59 \pm 0,61$
	120	$4,63 \pm 0,147$
	160	$4,17 \pm 0,073$

По мере уменьшения влажности грунта от его полного влагонасыщения крупные поры заполняются воздухом. Находящийся в грунте катод в этих условиях покрыт пленкой влаги и соприкасается как с крупными порами, так и с тонкими капиллярами, заполненными грунтовым электролитом, через которые подпитывается пленка влаги на катоде. При малых значениях влажности песка, торфа и глины (менее 13, 100 и 16% соответственно) толщина пленки электролита на катоде уменьшается до 70...100 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 шесть – десять раз (табл. 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.

### 1.5. Подземная коррозия стальных сооружений

Нефте- и газопроводы, подземные коммуникации нефтеперекачивающих и компрессорных станций, заглубленные и полуглубленные резервуары, электрические бронированные кабели и другие стальные коммуникации,

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

эксплуатирующиеся в подземных условиях, подвергаются коррозионному износу.

Грунт, содержащий растворенные в воде соли минеральных кислот: NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> и др., обладает ионной проводимостью (проводник второго рода) по сравнению с металлами, обладающими электронной проводимостью (проводник первого рода). Наиболее характерным катодным процессом при грунтовой коррозии подземных стальных сооружений является кислородная деполяризация. Подвод кислорода к корродирующей поверхности осуществляется из газообразной и жидкой фаз грунта. Одновременно действуют несколько механизмов доставки кислорода, одним из которых является диффузионный.

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 нефтегазопроводы, 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.

Первичным анодным процессом на оголенной поверхности трубопровода в грунте является переход в почвенный электролит ионов двухвалентного железа:  $Fe = Fe^{2+} + nH_2O + 2e$ . В грунтах, обладающих устойчиво нейтральными или основными свойствами, в результате взаимодействия с OH<sup>-</sup> ионами, образуется гидрат закиси железа:  $Fe^{2+} + 2OH^- = Fe(OH)_2$ , который, взаимодействуя с растворенным в воде кислородом, переходит в гидрат окиси железа:  $2Fe(OH)_2 + 1/2O_2 + H_2O = 2Fe(OH)_3$ . Из приведенной схемы видно, что анодный процесс сопровождается гидратацией образующегося аниона металла, поэтому для осуществления анодного процесса необходимо присутствие в грунте некоторого количества

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

влаги. Таким образом, процесс анодного растворения железа на влажных грунтах начинается с перехода в электролит иона-атома железа, несущего положительный заряд (катиона). При недостатке полярных молекул воды происходит накапливание положительных ионов-атомов железа на корродирующей поверхности, то есть происходит смещение потенциала анода в положительную сторону (анодная поляризация), уменьшающая скорость анодного растворения. Таким образом, при уменьшении влажности грунта скорость коррозии снижается. На уровне укладки подземных нефтегазопроводов влажность порового воздуха практически всегда равна 100%. По этой причине наружная поверхность подземных трубопроводов практически всегда покрыта пленкой влаги. По этой причине в большинстве естественных грунтов на уровне укладки подземных стальных трубопроводов имеющейся влаги достаточно для свободного протекания анодного процесса без заметного торможения.

Коррозионный процесс в грунтах, в отличие от электролитов со свободной конвекцией, имеет свою специфику и определяется как составом почвенного электролита зоны аэрации, где прокладываются магистральные и технологические трубопроводы, так и размером твердых частиц грунта. Состав почвенного электролита формируется растворением минеральных солей, содержащихся в твердой основе грунта, действием микроорганизмов, а также протекающими в грунте биохимическими процессами. Состав почвенного электролита очень изменчив. Он меняется не только в различные сезоны года, но даже в течение суток, за счет испарения, конденсации и его перемешивания в толще грунта. Твердая часть грунта состоит в основном из минералов с размерами от нескольких сантиметров (галька) до долей микрона (коллоидные фракции). Непосредственно в коррозионном процессе твердая основа грунта участия не принимает, однако она оказывает определяющее влияние на физико-механические свойства грунта и это влияние тем сильнее, чем меньше размер частиц и, следовательно, чем больше суммарная поверхность частиц, содержащихся в единице объема

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

грунта. Именно физико-механические, а не химические свойства грунта определяют скорость коррозии подземных сооружений. Особенно большое влияние на физико-механические свойства грунтов оказывают коллоидные фракции (размер частиц меньше 0,25мкм), илистые частицы (размер 0,25 – 1мкм) и, в меньшей степени, пылеватые частицы (размер 1 – 10мкм).

Известно, что общая скорость коррозии подземных стальных сооружений определяется скоростью той реакции, которая протекает с наименьшей интенсивностью. Эта стадия процесса называется контролирующим фактором, так как именно она контролирует скорость течения процесса. 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, обусловленном 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. 4 представлена оценка коррозионной активности грунта в зависимости от его удельного сопротивления.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

## Связь между удельным электрическим сопротивлением и коррозионной активностью грунта

Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом*м	Коррозионная агрессивность грунта
1	2
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:

- разность потенциалов двух разноименных стальных сооружений или их деталей, а также отдельных участков поверхности корродирующего трубопровода;
- наличие сквозных дефектов изоляции, то есть наличие контакта стальной поверхности с почвенным электролитом;
- соединение анода и катода проводником первого рода, которым может быть и само стальное сооружение, если на его поверхности возникли анодные и катодные участки;
- наличие в почвенном электролите растворенного кислорода и диссоциированных ионов.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таковыми условиями всегда характеризуется поверхность любого стального сооружения, погруженного в грунтовой электролит или имеющего на поверхности тонкую пленку влаги. Степень опасности коррозионного разрушения подземного стального сооружения оценивают не по возможности его возникновения, а 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.

Следует отметить, что роль конвекционных токов в толще грунта пренебрежительно мала. Здесь доступ кислорода лимитируется не только неподвижным слоем электролита (при свободной конвекции), а всей толщиной грунта над подземным стальным сооружением.

Концентрация растворенного в почвенном электролите кислорода при неизменных условиях не зависит от влажности грунта, поэтому с ее увеличением или уменьшением предельный ток по кислороду не должен изменяться. Если в отсутствие 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 же раствор песка, глины и торфа (при полном их влагонасыщении) плотность предельного тока кислорода уменьшилась в 2 – 3,5 раза. Наиболее вероятных причин, обусловивших наблюдаемое явление, две. Первая связана с ограничением конвективных потоков в толще грунта и затруднением доставки кислорода к зоне реакции. Вторая связана с возможным

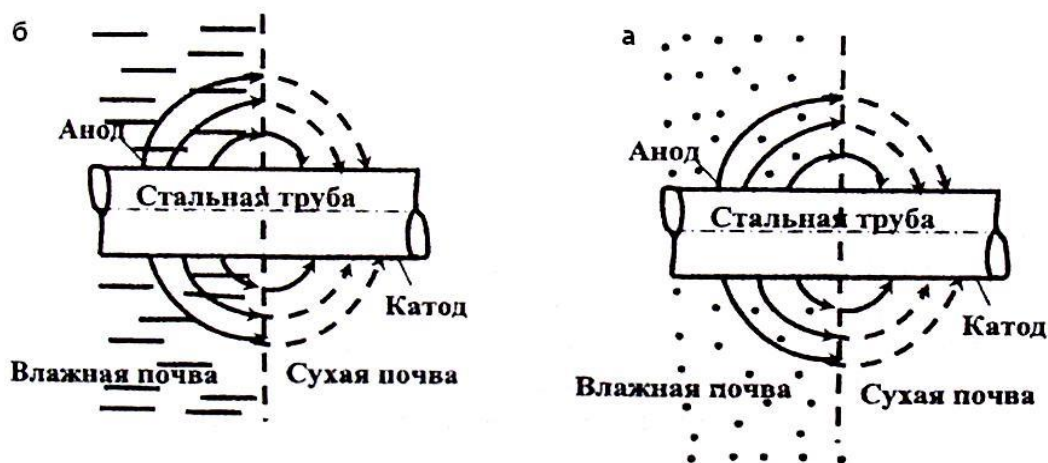
					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

уменьшением площади электрода, доступной для протекания электрохимической реакции за счет ее экранирования твердыми частицами грунта.

К особенностям грунтовой коррозии металлических сооружений относятся:

- большое количество микрокоррозионных элементов, возникающих из-за неоднородности стальной поверхности (наличие в сталях кристаллов Fe, C, Mn, P, S и т. д.);
- микровключений окалина, ржавчины на корродирующей поверхности;
- физико-механическая неоднородность состава грунта (грунтового электролита), обусловленная разной плотностью, содержанием различных солей, их концентрацией, химическим составом;
- возникновение и работа макрокоррозионных пар вследствие залегания разных типов грунтов по трассе трубопровода;
- 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. 9).



**Рис. 9.** Участок подземного стального трубопровода на выходе из болота (а) и участок подземного стального трубопровода в минерализованном и неминерализованном грунте (б)



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:

- наличие влаги (образование электролита и возможность возникновения электрохимической коррозии). Увеличение влажности грунта облегчает протекание анодного процесса, но затрудняет катодный процесс – снижается аэрируемость металла, то есть уменьшается поступление кислорода. Снижение содержания влаги затрудняет отвод ионов металла. При отсутствии влаги нет электролита и нет электрохимической коррозии;
- воздухопроницаемость грунтов, зависящая от влажности, пористости, химического состава. С повышением воздухопроницаемости облегчается катодный процесс и ускоряется коррозионное разрушение трубопроводов. Кроме этого, наличие разной аэрации участков приводит к образованию гальванических пар;
- электрическая проводимость грунтов, которая зависит от влажности, состава и концентрации, структуры грунта. Увеличение засоленности грунтов снижает электросопротивление;

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- кислотность грунта ( $pH = 3-7$ ), ускоряющая коррозию металлов в результате дополнительной катодной деполяризации ионами водорода;
- разнородность грунтов по длине трубопровода, приводящая к образованию макрокоррозионных пар и усилению коррозии металлов;
- 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.

					Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа	<i>Лист</i>
						50
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

# 1. КАТОДНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

## 2.1. Принципиальная схема катодной защиты трубопроводов

Катодную защиту применяют для предотвращения разрушения трубопровода от коррозии, а также, в отдельных случаях, от блуждающих токов при нецелесообразности использования электродренажной защиты.

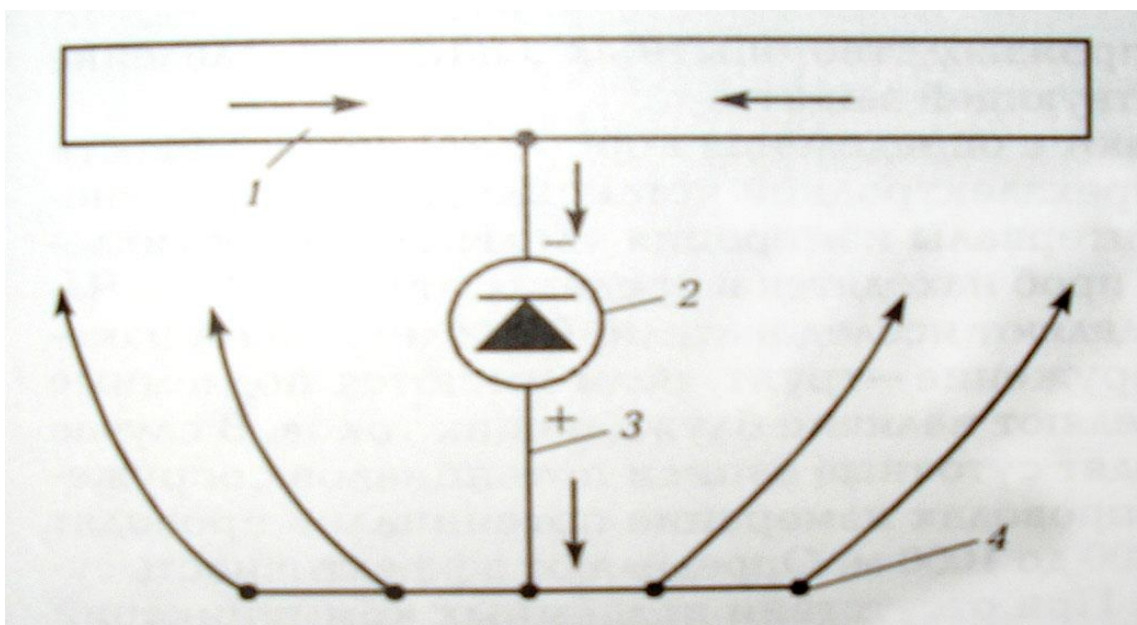
При катодной защите отрицательный полюс источника постоянного тока подключают к трубопроводу, а положительный - к искусственно созданному аноду - заземлению. При включении источника тока электрическая цепь замыкается через грунтовый электролит и на оголенных участках трубопровода в местах повреждения изоляции начинается процесс катодной поляризации (рис. 10).

Катодная поляризация конструкции часто сопровождается выпадением на ее поверхности осадка труднорастворимых гидроксидов, а также дополнительным смещением потенциала конструкции в отрицательную сторону вследствие увеличения концентрационной поляризации, что приводит к повышению эффективности катодной защиты.

Защите от электрохимической коррозии предшествует электрометрические изыскания, сущность которых заключается в подготовке исходных данных для выполнения необходимых расчетов и проектных работ.

Как известно, электрометрические изыскания включают в себя проведение измерений удельного сопротивления грунта или отбор проб грунта для определения в лабораторных условиях коррозионной активности, измерений градиентов потенциала, потенциала сооружения – грунт, производство опытных защит, определение эффективности существующей защиты.

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Ф.И.О. студ.				Катодная защита подземных трубопроводов	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Креп В.Г.						51	140
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП	Брусник О.В.							



**Рис. 10.** Принципиальная схема защиты трубопроводов: 1 – трубопровод; 2 – внешний источник постоянного тока; 3 – соединительный провод; 4 – анодное заземление

Изыскания начинают с определения коррозионной активности грунтов методом четырехэлектродной установки, либо по плотности катодного тока. Интервалы измерения удельного сопротивления грунта или отбора проб находятся в пределах от 0,1 до 4 км. Частоту измерения определяют исследователи. В последующем измеряют потенциалы сооружение – грунт, если имеются подземные коммуникации, определяют наличие блуждающих токов. В случае необходимости проводят суточные записи потенциалов сооружение – грунт. На трубопроводах измерение потенциалов проводят через расстояние от 200 до 1000 км. Определяют эффективность существующей защиты. При отсутствии подземных коммуникаций измеряют градиент потенциала. Для ускорения производства электрометрических изысканий используют передвижные лаборатории.

## 2.2. Анодное заземление

Анодное заземление служит для ввода тока в грунт при защите от коррозии подземного трубопровода. К анодному заземлению предъявляются следующие требования:

- 1) минимальное переходное сопротивление растеканию тока;
- 2) наименьшие габаритные размеры;
- 3) наиболее долговечный и недефицитный материал;
- 4) простота установки;
- 5) невысокая стоимость.

### 2.2.1. Виды анодных заземлителей

Принципиально заземлитель может быть изготовлен из любого токопроводящего материала (металл, графит и т. п.).

При выборе материалов для анодов в установках катодной защиты часто останавливаются на наиболее простом и доступном материале – стальном ломе. Анодные заземлители, изготовленные из самого дешевого материала (стальной лом), оказываются очень дороги по той причине, что требуется их частая замена. Высокая скорость растворения стальных анодов является основным недостатком, препятствующим широкому применению стали в качестве анодного материала для системы катодной защиты.

Поэтому стальной лом для анодных заземлителей используют в том случае, когда он не дефицитен, а частая замена не представляет трудностей.

Срок службы анодных заземлителей увеличивается, если применяются малорастворимые металлы.

Для снижения потерь металла анодные заземлители устанавливают в активатор - неагрессивные электропроводящие засыпки из измельченной и утрамбованной коксовой и угольной крошки. В некоторых случаях применяют отходы электродного производства - графитовую крошку и шлак.

При применении коксовой засыпки изменяется электрохимический механизм работы анодного заземлителя. Одновременно с ионной

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
						53
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

проводимостью на границе стальной заземлитель - грунт, связанной с растворением металла, возникает электронная проводимость на границе стальной заземлитель - засыпка.

Стеkanie электрического тока в грунт с прессованной коксовой засыпки не вызывает растворения поверхности заземлителя.

Характер электрохимических процессов, протекающих на поверхности анодного заземлителя, зависит от количества влаги в приэлектродном слое заземлителя, определяемого влажностью грунтов.

В засыпке не должно быть свободного грунтового электролита. В противном случае на поверхности заземлителя появляется ток ионной проводимости и стальной электрод начинает разрушаться.

По этой причине в грунтах насыщенной влажности (для коренных песков — 20 %, супесей — 25 % и суглинков — 30 %), где с поверхностью стального электрода контактирует грунтовой электролит, применение коксовой засыпки неэффективно. Стальные электроды разрушаются с той же скоростью, что и без засыпки.

Для влажных и маловлажных грунтов интенсивность разрушения стальных электродов в коксовой засыпке определяется электрохимическим эквивалентом для стали в коксе, который в 1,5 — 2,0 раза ниже, чем для стали в грунте в зависимости от плотности анодного тока.

Исследования в области применения коксовой мелочи показали, что для стальных анодов благоприятным условием работы является коксовая мелочь со степенью грануляции 1,2 — 2,5 мм. При таком гранулометрическом составе коксовой мелочи расход стального лома наименьший и в среднем составляет 4,5 кг/(А\*год). Благодаря засыпке снижается переходное сопротивление анод – грунт, облегчается отвод газов, обеспечивается более равномерная работа всей поверхности анода.

Для того чтобы анод был полностью предохранен от разрушения, свойства засыпки необходимо тщательно контролировать, она должна иметь

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

низкое удельное сопротивление порядка 0,1 Ом •м. Если сопротивление больше необходимой величины, в нее добавляют графит.

К числу современных анодов, применяемых для катодной защиты с наложенным током, относят ферросилидовые, графитовые, коксографитовые, а также аноды из алюминия, платины, платинированного титана, тантала и др.

Ниже дается краткое описание большинства перечисленных анодов с указанием их преимуществ и недостатков, а также условий, благоприятствующих их применению.

При работе коксовой мелочи в качестве наполнителя заземлителя влага из окружающего грунта проникает между зерен коксовой мелочи и заполняет свободное пространство между электродом и грунтом. Благодаря этому дополнительно включается ионная проводимость влаги между электродом и грунтом, а общее сопротивление заземлителя снижается.

Графитовые аноды, длительно применяющиеся в электрохимической промышленности, применяются и в системах катодной защиты. Графит является стабильной модификацией углерода, и конечным продуктом его превращений под действием электрохимического процесса является двуокись углерода. Если весь ток, накладываемый при катодной защите на графитовый анод, будет образовывать углекислый газ, скорость разрушения графитового анода составит 1 кг/(А • год)

Одной из причин разрушения графита является кислород, который освобождается на его поверхности. Однако при высокой концентрации хлора в реальных электролитах (грунтовых), замедляется процесс разрушения графита кислородом, так как выделение хлора происходит гораздо быстрее нежели кислорода. Поэтому аноды из графита весьма хорошо ведут себя в хлорсодержащих средах (например, морской воде).

Графитовые аноды обычно устанавливают в засыпку из коксовой мелочи, и при этом собственно анодом становится коксовая засыпка. Сопротивление растеканию тока уменьшается, а кислород, освобожденный

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
						55
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

на аноде, адсорбируется коксом. Таким образом, графит будет защищен от окисления.

К недостаткам графитированных анодов относят их низкую механическую прочность и хрупкость. Дефицитность и высокая стоимость в России не позволяют рекомендовать их к широкому внедрению.

Углеродистые электроды обычно имеют пористую структуру. В порах могут скапливаться выделяющиеся газы и, кроме того, по ним может проникать влага к металлическому токовводу, подвергая его коррозии. Поэтому с целью снижения скорости разрушения углеграфитовых электродов их пропитывают маслами или смолами.

В 1954 г. был предложен и испытан сплав ферросилида. В сообщениях об опыте использования ферросилидовых анодов отмечено, что ферросилид может быть применен для анодов при обычных плотностях тока с очень небольшими потерями металла. Потери металла (ферросилида) находятся в пределах 0,08-0,70 кг/(А • год).

Своей стойкостью к электрохимическому разрушению ферросилид обязан образованию на поверхности плотно сцепляющейся, проводящей пленки SiO<sub>2</sub>, его способности (в отличие от графита) лучше работать в условиях преимущественного выделения кислорода на аноде.

При работе таких заземлителей (АКО-2М, АЗМ-2) на их поверхности образуется коричневая пленка, а в некоторых местах образуется точечная коррозия (при этом питтинги иногда достигают в диаметре 25 мм), что приводит к выходу из строя заземлителя. Кроме того, с увеличением плотности анодного тока повышается интенсивность растворения ферросилидовых анодов.

Применение свинцовых сплавов в качестве анодов катодной защиты известно с 1960-х гг. Для этих целей использованы следующие сплавы:

- 1) свинец, 12 % сурьмы, 14 % серебра;
- 2) свинец, 28 % мышьяка;
- 3) свинец, 6,7 % сурьмы, 3 % олова, 0,98 % серебра.

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56



Добавка небольшого количества серебра делает такие сплавы "малорастворимыми". Этот эффект объясняется образованием на поверхности анода плотного хорошо проводящего оксидного слоя  $PbO_2$ , который и является токоотдающей поверхностью.

При отсутствии легирующих добавок в виде серебра этот слой становится пористым и в работу включается нижележащий металлический свинец, который быстро растворяется.

Электрохимический эквивалент анодов из сплавов свинца в грунте составляет порядка 0,4 - 0,6 кг/(А • год). С электрохимической точки зрения, их преимуществами являются: низкая скорость разрушения, возможность применения высоких плотностей тока, хорошая электрическая проводимость сплава. К недостаткам следует отнести то, что эти аноды необходимо устанавливать в среде с большим содержанием хлора, что не всегда выполнимо для подземных трубопроводов.

Перспективным материалом для анодных заземлителей является магнетит - сплав на основе оксидов железа. Изделия из магнетита отливают при высокой температуре со специальными добавками. Литой электрод гладкий, твердый и плотный как стекло. Электрохимический эквивалент магнетита составляет 0,02 кг/(А • год).

Анодные заземлители из магнетита проходят промышленную апробацию.

В настоящее время имеется опыт катодной защиты с платинированными титановыми анодами трубчатой формы с медным сердечником. Изготавливают такие аноды диаметром от 3,0 до 25,6 мм, покрытыми платиной в 20 мк. Несмотря на ряд преимуществ сплавов в качестве анодов, они имеют такие недостатки, как хрупкость и ломкость, высокая стоимость. Электрохимический эквивалент радованных титановых анодов составляет порядка 0,08 – 0,15 кг/(А\*год).

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
						57
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Платинированные танталовые аноды применимы при большом рабочем напряжении в системах катодной защиты, где возможно осуществить автоматическое регулирование потенциала.

Платину относят к наиболее химически стойким металлам, платинированные аноды можно применять при плотности анодного тока 2000-3000 А/м<sup>2</sup>. Однако высокой стоимостью и дефицитностью платины ограничивается возможность ее применения в чистом виде. Поэтому она применяется либо в виде тонкого покрытия на подложке из пассивирующихся металлов титана, тантала или ниобия, либо в виде проволоки или сетки, укрепленных в основе из диэлектрика.

В ходе длительных испытаний при плотностях тока от 4,4 до 40 А/м<sup>2</sup> титан—никелевых сплавов для анодов, применяемых в системах катодной защиты, расход материала составил от 1 до 10 г/(А • год). Это были бы хорошие результаты, если бы не наблюдался процесс питтингообразования. А в случае выделения на поверхности анода кислорода или хлора скорость саморастворения увеличивается в результате подкисления приэлектродного слоя, пропорционально плотности тока. Поэтому литые титан - никелевые аноды не могут обеспечить надежную работу катодной защиты.

За рубежом и в России для анодных заземлителей используют электропроводную резину. Внутри резинового тела, представляющего собой гибкий электрод диаметром от 20 до 50 мм, проходит непрерывный токоотвод в виде многопроволочной медной или омедненной стальной жилы.

Кроме того, для анодных заземлителей применяют малорастворимые материалы на основе токопроводящих эластомеров и полимеров. Электрохимический эквивалент этих конструкций находится в пределах 0,5 кг/(А\*год). Поставляют их в бобинах длиной от 500 до 600м в зависимости от диаметра. Анодные заземлители из этих материалов проходят промышленную апробацию. Планируют их использовать для горизонтальных и протяженных конструкций.

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

Из применяемых в настоящее время малорастворимых материалов (графит, ферросилид, платинированный титан и т. д.) ни один в полной мере не удовлетворяет практическим запросам, что обуславливает продолжение поиска новых материалов, среди которых в последнее время уделяется большое внимание композиционным материалам.

В последние годы начали применять электроды из прессованного графитированного порошка на связующем из фенолоформальдегидной смолы. Этот материал известен под названием графитопласт типа АТМ-1. Графитопласт обладает низкой механической прочностью, однако он хорошо обрабатывается. Имеется промышленная база для производства в количестве, удовлетворяющем потребности нефтяной промышленности. Скорость анодного растворения графитопласта составляет 0,5-1,0 кг/(А • год).

Изготовлением графитопластовых электродов в виде полых цилиндров большого диаметра в некоторой степени компенсируют низкую прочность материала. Помещая токовводы и соединительные кабели в полость трубчатого электрода, где электрическое поле отсутствует, можно надежно предохранить эти элементы от разрушающего действия анодного тока.

ВНИИСТом разработан анодный заземлитель в коксобетонной оболочке. Коксобетон является композиционным материалом, состоящим из коксовой мелочи, цементного камня и жидкой фазы, которая представляет собой водный раствор электролитов.

Изготавливают анодные заземлители в коксобитумной оболочке. В качестве углеродсодержащего наполнителя используют коксовую мелочь, а в качестве связующего берут битумно - резиновую мастику. Анодные заземлители изготавливают методом прессования при давлении не менее 30 МПа. Удельное электрическое сопротивление материала оболочки не превышает 0,2 Ом•м. Для повышения механической прочности и долговечности иногда рекомендуют в оболочку добавлять различные полимеры.

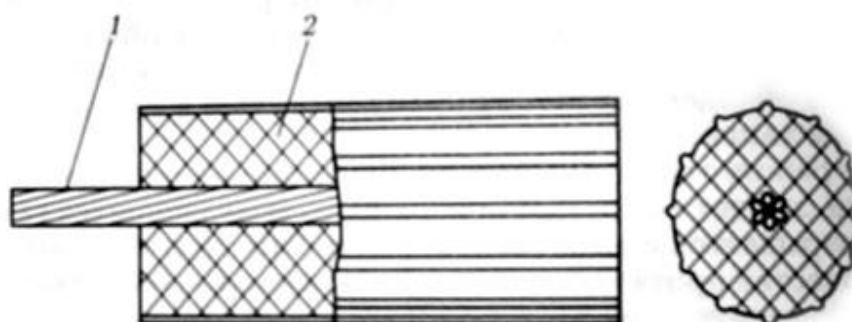
					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

Находят применение для стальных анодов обмазки, состоящие из смеси полупроводникового окисла и стекла. Полученное покрытие обладает достаточной стойкостью в средах, содержащих ионы хлора.

При работе таких анодных заземлителей на границе электрод-оболочка, за счет выхода на поверхность выделяющихся газов, оболочка разрывается и заземлители быстро выходят из строя.

В качестве протяженных анодных заземлителей можно использовать заземлители из электропроводящего эластомера типа ЭРП, «Райхем», «AnodeFlex» и др.

Заземлители представляют собой гибкий электрод из электропроводящего эластомера диаметром от 10 до 50 мм, по оси которого расположен непрерывный токоввод в виде многопроволочной медной или омедненной стальной жилы (рис. 11).



**Рис. 11.** Конструкция анодного заземлителя ЭРП: 1 – токоотвод; 2 – рабочий электрод

Благодаря применению специальных составов эластомера анодные заземлители обеспечивают отекание значительных защитных токов, составляющих 0,04—0,08 А на погонный метр длины электрода.

Протяженные заземлители применяют для создания как локальных, так и протяженных заземлений, в любых грунтах и климатических условиях.

Заземлители можно укладывать горизонтально в траншеи или опускать в вертикальные скважины с применением засыпки из коксовой мелочи. Контактные соединения осуществляют в специальных колонках, что

позволяет полностью исключить какие-либо соединения в грунте и повысить надежность заземления.

Связующее вещество является одним из основных компонентов композиционного материала.

Каменноугольный пек является лучшим связующим для брикетирования коксовой мелочи. Он представляет собой аморфную массу тяжелых фракций после отгонки из смолы масел и нафталина.

Каменноугольный пек характеризуется наличием большого числа парамагнитных центров, которые могут принимать активное участие в образовании химических связей между связующими материалами и твердым наполнителем. По сути, в настоящее время это единственный в мировой практике связующий материал для углеродистой продукции. В связи с этим естественно стремление исследователей изыскать доступные заменители каменноугольного пека.

Нефтяной пек обладает высокими цементирующими свойствами, но значительно уступает каменноугольному. Но он менее канцерогенен, чем каменноугольный пек.

### 2.2.2. Глубинные анодные заземлители

В настоящее время наряду с анодными заземлителями поверхностного типа получили широкое применение глубинные анодные заземлители, применение которых во многих случаях позволяет свести до минимума взаимное влияние защищенного от коррозии сооружения на незащищенное. Проблема взаимного влияния возникает в густонаселенных городских районах с большим подземным хозяйством, на территориях промышленных площадок перекачивающих станций и нефтебаз, где осуществление катодной защиты с этой точки зрения представляет большие трудности.

Материалами для сооружения глубинных анодных заземлителей служат те же материалы, что и для поверхностных. Применение того или иного материала для глубинного анодного заземлителя вызывает необходимость

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
						61
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

бурения скважин различного диаметра, а также влияет на выбор необходимой длины его рабочей части.

С учетом геологического строения земли в месте установки заземлителей и условиями монтажа их можно разделить на четыре группы:

1) заземлители в обсаженной скважине:

К этой группе относят заземлители, которые устанавливают в неустойчивых горных породах (рис. 12, а). Скважину проводят на проектную глубину и обсаживают трубой. В трубу спускают аноды и засыпают коксовой мелочью. Снизу и сверху делают кабельный вывод на поверхность. Если имеется возможность, то обсадную трубу удаляют.

Недостатком этих конструкций является то, что обсадная колонна скважин доходит до поверхности грунта, где она может оказаться вблизи подземных трубопроводов, что значительно снижает зону активного действия катодной установки.

2) заземлители в необсаженной скважине:

Если позволяют горные породы, то глубинные заземлители устанавливают в необсаженных скважинах (рис. 12, б). Скважину проводят на проектную глубину. Спускают аноды и засыпают коксовой мелочью до глубины 10 - 15 м от поверхности грунта. Верхнюю часть засыпают гравием. Снизу и сверху делают кабельные выводы на поверхность. Такая конструкция значительно удалена от подземных трубопроводов.

3) комбинированные заземлители:

Когда верхние породы грунта в скважине неустойчивы, устанавливают комбинированные заземлители (рис. 12, в).

Скважину проводят на глубину 5 - 10 м, обсаживают колонной. Далее проводку скважины осуществляют меньшим диаметром на проектную глубину. В скважину спускают заземлитель конструкции "труба в трубе" и засыпают коксовой мелочью, а затем гравием. Верхнюю часть внутренней трубы заземлителя (10 - 15 м) изолируют слоем весьма усиленной изоляции.

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

### 2.2.3. Заменяемые заземлители

Применение заменяемых конструкций дает экономический эффект за счет уменьшения глубины скважин (рис. 12, г).

Скважину проводят на глубину 30 - 40 м в зависимости от уровня грунтовых вод и обсаживают пластмассовой трубой диаметром 200 мм. Начиная с уровня грунтовых вод и до забоя в пластмассовой трубе сверлят отверстия диаметром 8 мм на расстоянии 200 мм по высоте. Заземлитель состоит из трех секций длиной по 6 м. Токоввод выполнен из круглой стали диаметром 30 мм. В основании первой секции запрессовывают стальной круг диаметром 170 мм. Затем на токоввод надевают диски диаметром 160 мм из пресованных стальных отходов. После этого первую секцию опускают в скважину. Секции между собой соединяют с помощью резьбового соединения и сваривают. Последнюю секцию соединяют с катодной станцией, предварительно на нее надевают контрольную пластмассовую трубку с ограничителем хода в 3 м. К нижней части контрольной трубки крепят стальной диск. После сработки 3 м анода контрольную трубку извлекают из скважины. На токоввод нанизывают 3 м стальных дисков, надевают контрольную трубку и опускают в скважину.

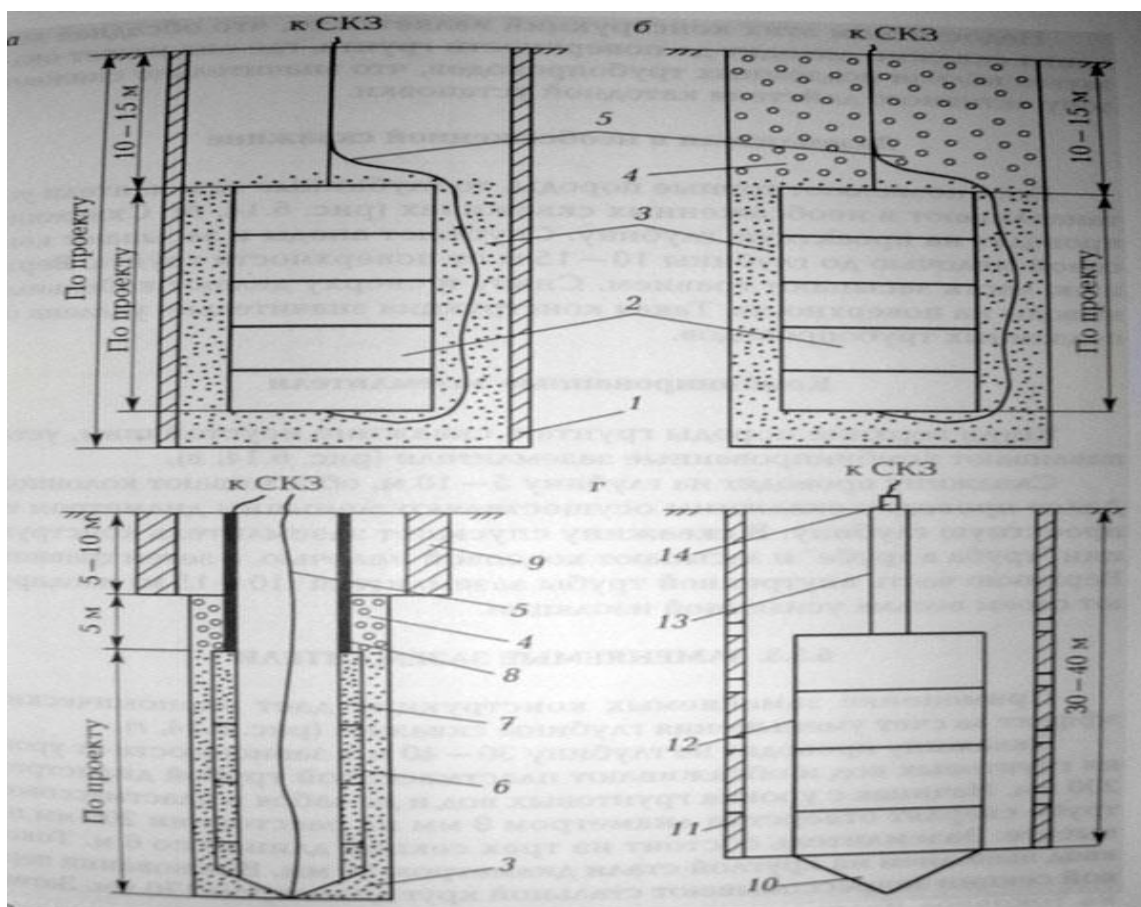
#### Способы установки анодных заземлителей

Для нормальной работы анодного заземлителя необходимо, чтобы он был установлен ниже глубины промерзания или высыхания и находился на расстоянии не менее 25 м от подземных коммуникаций.

Наиболее простой способ установки поверхностных заземлителей — горизонтальный. В этом случае анодный заземлитель размещают на дне траншеи ниже глубины промерзания. Для размещения горизонтального анодного заземлителя требуется большая площадь, свободная от застройки, и в условиях большой глубины промерзания приходится производить большой объем земляных работ. Поэтому предложено устанавливать анодный заземлитель вертикально в пробуренную на глубину 4 м скважину. Между

					Катодная защита подземных трубопроводов	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

собой за-землители соединяют изолированной шиной, прокладываемой в траншее на глубине 0,8 - 1,0 м. Для установки анодного заземления на глубину более 4 м требуется специальное буровое оборудование.



**Рис. 12.** Схемы конструкций заземлителей: 1 – обсадная труба; 2 – графитовые аноды; 3 – коксовая мелочь; 4 – графитовая засыпка; 5 – соединительные кабели; 6 – наружная труба; 7 – внутренняя труба; 8 – слой весьма усиленной изоляции; 9 – кондуктор; 10 – направляющий башмак; 11 – пластмассовая перфорированная труба; 12 – анод; 13 – контрольная труба; 14 – токоввод

Глубинные анодные заземлители устанавливают в предварительно пробуренную скважину на глубину до 100 м. Для выполнения этих работ требуется привлечь специализированные организации, имеющие буровое оборудование.

Можно размещать анодные заземлители в предварительно забитой трубе. Забивку труб выполняют со сваебойного агрегата на глубину до 40 м методом наращивания труб. Такой способ установки анодного заземления особенно выгодно применять в условиях капитального ремонта в



застроенной части, так как нарушение благоустройства сводится к минимуму.

#### **2.2.4. Факторы, влияющие на работу анодного заземления**

На глубинное анодное заземление в процессе работы влияют такие факторы, как температура, электроосмос, выделение газов, форма заземления.

##### **Влияние температуры**

При большой анодной плотности тока, протекающего длительное время, в результате нагрева им грунта и последующего испарения влаги возможно осушение грунта, окружающего заземлитель. При этом сопротивление заземления резко возрастает.

Вследствие осушения уменьшается электропроводность грунта вокруг заземлителя. Для того чтобы заземление было термически устойчивым, заземлители должны иметь поверхность тем большую чем больший ток будет проходить через них. Сопротивление растеканию заземления в наиболее сухой период года должно быть:  $R = 50/I, \text{ Ом}$

##### **Влияние газовыделения**

При эксплуатации катодных установок с анодами поверхностного и глубокого заложения происходит выделение газов. Интенсивность выделения их зависит от плотности анодного тока. Выделяющиеся газы мигрируют в грунт, окружающий заземлитель, и вызывают отставание частиц породы от поверхности заземлителя.

При эксплуатации глубинных анодных заземлителей с большими плотностями анодного тока некоторое количество выделяющегося газа не успевает мигрировать в пласт и вокруг анода создается газовая оболочка. Эта оболочка увеличивает переходное сопротивление заземлитель - грунт, что приводит к уменьшению зоны действия катодной установки.

Поэтому при эксплуатации глубинных анодных заземлителей при токах катодных станций 25 А и выше необходимо предусматривать мероприятия по отводу от поверхности заземлителей образующихся газов. На аноде

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

выделяются кислород и другие газы в зависимости от химического состава воды и грунта.

### Влияние электроосмоса

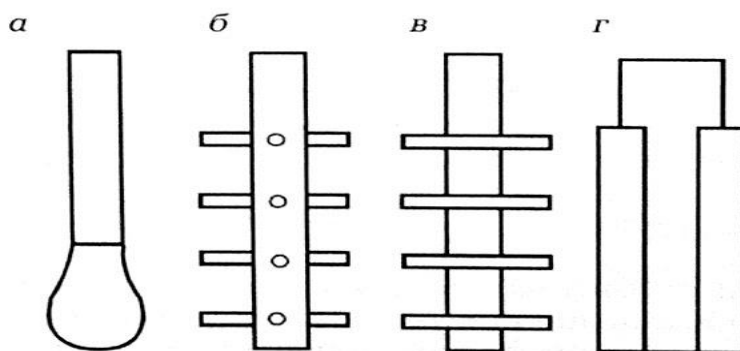
При протекании большого тока через заземлители может происходить электроосмотический отгон влаги от заземлителей, которому противодействует гидромеханический напор грунтовой влаги, движущейся со скоростью гидромеханической фильтрации  $v_{\phi}$ . Может наступить равновесие между электроосмотической  $v_{oc}$  и гидромеханической фильтрацией, т. е.  $v_{oc} - v_{\phi} = 0$ .

Количество отгоняемой от анода воды:  $Q = UI_{ж}I/\pi v \lambda_{ж}$ , где  $I$  - сила тока, А;  $v$  - вязкость жидкости,  $см^2/с$ ;  $\lambda_{ж}$  - удельная электропроводность жидкости;  $I_{ж}$  - диэлектрическая постоянная жидкости;  $U$  - электрокинетический потенциал ( $U = 0.05 - 0.1В$ ).

Для уменьшения влияния электроосмоса в грунт, окружающий анод, добавляют соль или известь.

### Влияние формы заземлителя

Наиболее удачной формой заземлителя для его равномерного разрушения является шар. В практике шаровые анодные заземлители не применяют в связи с трудностью их изготовления и установки.



**Рис. 13.** Конструкции анодного заземлителя: а – с утолщенным низом; б – с приваренными штырями; в – с приваренными дисками; г – с приваренными полосами

В основном используются линейные анодные заземлители. В однородных грунтах они разрушаются в основном в виде вогнутого перевернутого конуса. Для повышения долговечности работы анодного заземлителя его делают утолщенным книзу или приваривают к нему штыри, полосы или диски (рис. 13).

					<i>Катодная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

## 2. ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ

### 3.1. Принцип работы протекторной защиты

При прокладке магистральных трубопроводов в труднодоступных районах часто отсутствуют линии электропередачи, так как их сооружение для питания установок катодной защиты связано с большими затратами. В этом случае иногда применяют протекторную защиту. Принцип действия заключается в том, что интенсивному разрушению подвергают протектор — анод, имеющий более электроотрицательный потенциал, чем защищаемый стальной трубопровод, который служит катодом в образовавшейся гальванической паре.

Корродирующий металл можно рассматривать как бинарный короткозамкнутый гальванический элемент А-К, к которому присоединяется третий электрод, являющийся эффективным анодом (протектором).

При достаточном смещении потенциала системы в отрицательную сторону ток коррозии может стать равным нулю, т. е. наступит полная защита. Таким образом, для полного прекращения коррозии нужно поляризовать защищаемую металлическую конструкцию до значения потенциала наиболее отрицательной анодной составляющей ее поверхности.

Протекторы рекомендуется устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением до 50 Ом\*м. Так как мощность одного протектора невелика, их размещают группами (рис. 14, б) или исполняют в виде протяженных лент. Протяженные протекторы (рис. 14, а) укладывают в одной траншее с трубопроводом. В этом случае, согласно рекомендациям ВНИИСТА, протяженные протекторы можно устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением до 500 Ом • м.

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Магомедов				Протекторная защита трубопроводов	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Саруев А.Л						68	140
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП	Брусник О.В.							

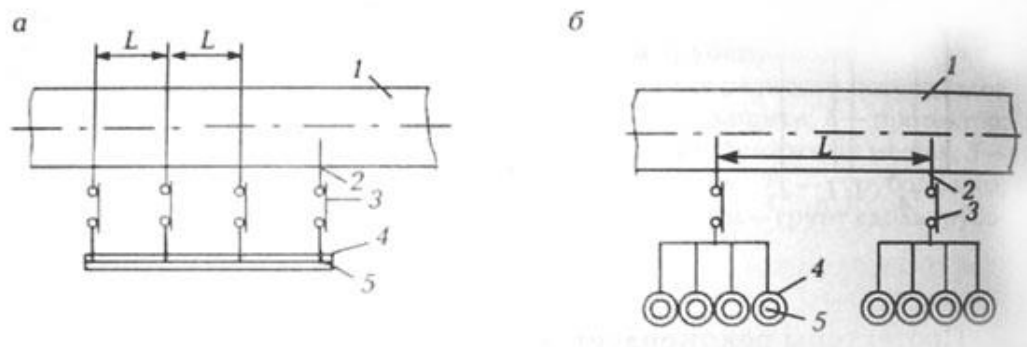
Для протекторов, применяемых при защите стальных сооружений, можно использовать все металлы, имеющие более электроотрицательный потенциал, чем железо. Наибольшее распространение получили магний, цинк и алюминий. Физико - химические характеристики приведены ниже:

<i>Материал</i>	<i>Магний</i>	<i>Цинк</i>	<i>Алюминий</i>
Относительная молекулярная масса.....	24,32	65,328	26,97
Валентность.....	2	2	3
Электрохимический эквивалент, кг/(А*год).....	3,97	10,7	2,94
Токоотдача, (А*ч)/кг.....	2200	820	2980
Равновесный электродный потенциал по нормальному водородному электроду, В.....	-2,34	-0.76	-1.67

Для протекторов при защите подземных сооружений часто используют магний, алюминий и цинк. Чистые металлы не получили практического применения для изготовления протекторов, так как магний имеет сравнительно низкую токоотдачу, а алюминий и цинк склонны к пассивации. Введение добавок позволяет получить сплавы с более отрицательными, чем у основного металла, потенциалами, которые могут оставаться активными и равномерно разрушаться. В магниевые сплавы для протекторов вводят добавки алюминия, цинка и марганца. Алюминий улучшает литейные свойства сплава и повышает механические характеристики, но при этом немного снижается потенциал. Цинк облагораживает сплав и уменьшает вредное воздействие таких примесей, как медь и никель, позволяя повышать их критическое содержание в сплаве. Марганец вводят в сплав для осаждения примесей железа. Кроме того, он повышает токоотдачу и делает более отрицательным потенциал протектора. Основные загрязняющие примеси в

					<i>Протекторная защита трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

сплаве - железо, медь, никель, кремний. Они увеличивают самокоррозию протекторов и снижают срок службы.



**Рис. 14.** Схема протекторной защиты подземного трубопровода: а – защита протяженными протекторами; б – защита групповыми протекторными установками; 1 – трубопровод; 2 – соединительный провод; 3 – контрольно-измерительная колонка; 4 – активатор; 5 - протектор

Эффективность работы протектора увеличивается при установке его в специальные смеси-заполнители, называемые активаторами. Активаторы служат для снижения самокоррозии протектора уменьшения анодной поляризуемости, уменьшения сопротивления растеканию тока с протектора, предотвращения образования плотных оксидных пленок на поверхности протектора. Применение активатора повышает КПД протектора, т. е. срок его службы, и стабилизирует ток в цепи протекторной установки.

Основными компонентами активаторов к магниевым сплавам являются глина, гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), эпсомит ( $\text{MgSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) и мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

Для приготовления активатора используют смеси сухих солей и глины, состав которых приведен ниже:

Массовая доля компонента, %	Состав I	Состав II
Эпсомит.....	30	20
Гипс.....	10	20
Глина. ....	40	40
Вода.....	20	20

Активатор доводят до вязкой консистенции, добавляя воду перед установкой протектора. На один протектор используют 10 - 40 кг активатора.

Мирабилит снижает КПД магниевых протекторов и применяется только при отсутствии эпсомита.

Глины и гипс в активаторе служат для предотвращения вымывания солей в процессе работы протекторной установки. Стабильная работа протекторной установки обеспечивается при установке протекторов ниже глубины промерзания или высыхания грунта.

### 3.2. Конструкция протекторов

Технология изготовления магниевых протекторов разработана ВНИИСТом совместно с Березниковским титаномагниевым комбинатом и Всесоюзным институтом сплавов (ВИПС). Комплектные протекторы изготавливают с электродами из магниевых сплавов повышенной чистоты Мл-16, Мл-16пч, Мл-16вч, Мл-4вч и сплава МПУ.

К электроду подсоединен изолированный соединительный проводник.

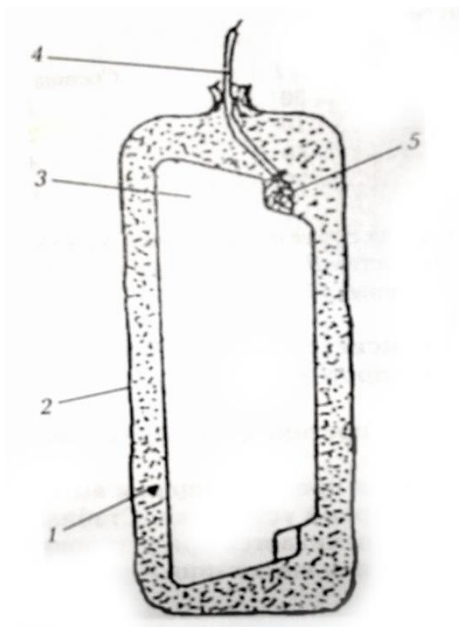
Комплектный протектор представляет собой электрод с соединительным проводником и порошкообразным активатором, находящимся в полиэтиленовом или хлопчатобумажном мешке. При транспортировке и хранении комплектный протектор находится в мешке из крафт-бумаги (рис. 15).

Магниевый электрод типа ПМ (табл. 5) представляет собой удлиненный профиль Д-образного сечения, в который при отливке вставляют стальной сердечник. Вокруг сердечника в магниевом электроде имеется углубление в виде воронки. После соединения контактов воронку заполняют битумной мастикой с целью предотвращения контактной коррозии. Потенциал протектор — грунт для этих сплавов равен минус 1,6 В по медно-сульфатному электроду сравнения (при разомкнутой цепи протекторной установки). При анодной плотности тока  $10 \text{ мА/м}^2$  КПД протекторов находится в пределах от 0,52-0,66.

Масса протекторов ПМ 5У, ПМ 10У, ПМ 20У включает массу активатора. Теоретическая токоотдача протекторов составляет  $2200 \text{ А} \cdot \text{ч/кг}$ .

					<i>Протекторная защита трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

Изготовленные из сплава магния Мг 95-1 протяженные протекторы, отличающиеся малой массой на единицу поверхности, резко расширяют область применения протекторов, которая раньше ограничивалась удельным сопротивлением грунтов до  $50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Протяженные протекторы типа ПМП 35 x 10, ПМП 20 x 10 представляют собой полосу, намотанную на барабан.



**Рис. 15.** Общий вид комплектного протектора типа ПМУ: 1 – активатор; 2 – хлопчатобумажный мешок; 3 – магниевый анод типа ПМ; 4 – соединительный провод; 5 – изоляция контактного узла

Протяженные протекторы, сматываемые с барабана, можно укладывать в одну траншею вместе с трубопроводом или на некотором расстоянии от него.

ВНИИСТом разработаны конструкции кольцевых протекторов, которые изготавливают из двух литых анодов-полуколец, соединенных болтами, либо сваркой арматуры или отдельных сегментов (четыре, шесть и более).



## Техническая характеристика магниевых протекторов

Тип протектора	Размеры протектора, мм				Масса $G_{\text{п}}$ кг
	$l_{\text{п}}$	$d_{\text{н}}$	$l_{\text{а}}$	$d_{\text{а}}$	
ПМ-5	500	95	—	—	5
ПМ-5У	500	95	580	165	5
ПМ-10	600	125	—	—	10
ПМ-10У	600	123	700	200	10
ПМ-20	800	181	—	—	20
ПМ-20У	900	181	900	240	20

Каждый сегмент имеет контактный стержень, привариваемый к стальным обводам, охватывающим трубопровод.

В качестве материалов для анодных сегментов можно использовать вышеназванные сплавы.

В ОАО "Татнефть" разработана система протекторной защиты внутренней полости промысловых трубопроводов с использованием алюминиевых протекторов, соединенных из отдельных стержней внутри трубопровода. Результаты опытно-промышленного внедрения покажут рентабельность данного предложения.

Прутковые протекторы представляют собой биметаллический пруток с оболочкой из протекторного сплава и стальным оцинкованным контактным стержнем диаметром 4 мм, проходящим по центру протектора. Форма пруткового протектора может быть круглой, полукруглой и эллипсовидной и определяется технологией их изготовления.

При использовании прутковых протекторов последние соединяют между собой, при этом образуется единый протяженный протектор. Электрический контакт протяженного протектора с защищаемым сооружением осуществляют через КИП.

										Лист
										73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Протекторная защита трубопроводов					

Для защиты подземных сооружений от коррозии, находящихся в зонах блуждающих токов, используют поляризованные протекторные установки, в которых подключение протекторов к трубопроводу осуществляют через полупроводниковый диод. Порог открывания диодов должен быть в пределах 0,3 — 0,4 В. Для этой цели применяют германиевые диоды, соединенные параллельно по 3—6 шт. При использовании кремниевых диодов применяется схема снижения порога открывания диода с помощью дополнительного источника тока.

В качестве источника тока используется сухой элемент типа 373. Контактную панель, плату с диодом и другими элементами схемы, а также источник тока размещают в контрольно-измерительной колонке.

Резервная защита с помощью протекторов автоматически включается в работу при отключении основной катодной защиты. Монтаж осуществляют аналогично основной протекторной защите.

Временную электрохимическую защиту трубопроводов вводят до строительства основных систем катодной защиты. Число и расстановка протекторов вдоль уложенного в грунт трубопровода определяются типовым проектом, учитывающим проектные требования к изоляционному покрытию трубопровода после его засыпки и сроком введения в строй основной электрохимической защиты.

Монтаж литых сосредоточенных протекторов в грунт выполняют в следующей последовательности:

- отрывают шурфы или пробуривают скважины на глубину и на расстоянии от защищаемого объекта согласно проектной документации;
- отрывают траншею для укладки соединительных проводов между отдельными протекторами и защищаемым объектом;
- устанавливают контрольно-измерительную колонку;
- приваривают провод к защищаемому сооружению и место приварки тщательно изолируют;

					<i>Протекторная защита трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

— протектор извлекают из бумажного транспортного мешка, зацепляют крючком из стальной проволоки за петлю хлопчатобумажного мешка и опускают в скважину или шурф;

— каждый протектор засыпают мягким грунтом с послойной утрамбовкой, монтажную проволоку извлекают;

— в скважину или шурф заливают 2-3 ведра воды и протектор засыпают грунтом окончательно;

— соединительные узлы тщательно изолируют и вместе с проводами укладывают в траншею;

— концы проводов от сооружения и от группы протекторов выводят на клеммную панель КИП;

— все траншеи засыпают грунтом, который затем утрамбовывают.

При монтаже протекторов запрещается опускать их в скважины при помощи соединительного провода.

Перед опусканием в скважины протекторы рекомендуется погружать в воду с целью увлажнения активатора.

По завершении монтажных и земляных работ составляют акт с указанием технических данных протекторов и приложением исполнительного плана участка с протекторными установками с точной привязкой скважин с протекторами, места присоединения к защищаемому объекту, установок КИК и траншей для прокладки проводов.

Протекторы также используют для защиты кожухов на переходах трубопроводов через автомобильные и железные дороги.

					<i>Протекторная защита трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

### 3. ЭЛЕКТРОДРЕНАЖНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

#### 4.1. Принцип работы электродренажной защиты

Электрический ток, протекающий через металлическое сооружение, смонтированное в грунте, влияет на скорость коррозионного разрушения при переходе с металла в электролит. Возникновение токов связано с работой электрических устройств, в которых в качестве токопровода используется земля. В ней появляются электрические токи, сила и направление которых могут изменяться во времени. Эти токи получили название блуждающих.

Источниками блуждающих токов служат линии электрифицированных железных дорог, трамваев, метрополитена, линии передачи постоянного тока, работающие по системе провод-земля, установки катодной защиты подземных металлических сооружений. Устройство электроснабжения электрифицированных железных дорог, трамваев и метрополитена принципиально одинаково, поэтому и процессы возникновения в земле блуждающих токов от этих источников одинаковые (рис. 16). Положительный полюс источника питания подключают к контактному проводу, а отрицательный — к рельсам. При такой схеме электроснабжения тяговый ток от положительной шины тяговой подстанции по питающим фидерам (линиям) поступает через контактную сеть и токоприемник к двигателю электровоза, а затем через колеса и рельсы к отрицательной шине тяговой подстанции. Так как рельсы не полностью изолированы от грунта, часть тягового тока стекает с них в землю. Сила стекающего тока, который и является блуждающим, тем больше, чем меньше переходное сопротивление между рельсами и грунтом и чем выше продольное сопротивление рельсов.

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Магомедов</i>			<i>Электродренажная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Саруев А.Л</i>					76	140
<i>Консульт.</i>						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

При условиях, способствующих утечке тока в грунт (отсутствие стыковых соединений на рельсах, загрязненность балласта и т. д.), сила блуждающего тока в грунте может достигать более 20 % от общей силы тягового тока, т. е. десятков ампер. Среднесуточная плотность тока утечки, превышающая  $0,0015 \text{ мА/м}^2$ , считается опасной для подземных металлических сооружений.

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 (трубопровод, кабель и др.), переходят на них, так как сопротивление металла значительно меньше сопротивления грунта. Ток течет по металлическому сооружению до тех пор, пока не встретит благоприятных условий для возвращения на минусовую шину тяговой подстанции. Блуждающие токи имеют радиус действия до нескольких десятков километров в сторону от токонесущих сооружений (трамвайных или железнодорожных рельсовых путей, линий электропередачи и т. д.). В местах входа блуждающих токов в трубопровод и выхода из него в грунт протекают электрохимические реакции. В зоне входа токов происходит катодный процесс, который приводит к подщелачиванию грунта, а иногда и к выделению водорода. В местах выхода тока в грунт образуются анодные участки, где происходит усиленное растворение металла, прямо пропорциональное силе тока. Основной величиной, характеризующей интенсивность процесса электрокоррозии, является сила тока, стекающего с подземного сооружения в грунт, отнесенная к единице поверхности, т. е. плотность тока утечки. Однако практически можно

					<i>Электродренажная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		77

измерить только линейную плотность тока утечки, т. е. силу тока, стекающего с единицы длины подземного трубопровода. Блуждающие токи помимо плотности характеризуются и значением потенциала его по отношению к ближайшей точке грунта. Однако значение потенциала указывает лишь на возможность коррозионного процесса, т. е. на вход или стекание тока с подземного сооружения, но не позволяет оценить количество разрушаемого металла. При большом положительном потенциале, но высоком сопротивлении изоляции плотность тока утечки невелика и коррозионное разрушение мало. В то же время при незначительном положительном потенциале, но при малом переходном сопротивлении изоляции может возникнуть большая плотность тока утечки.

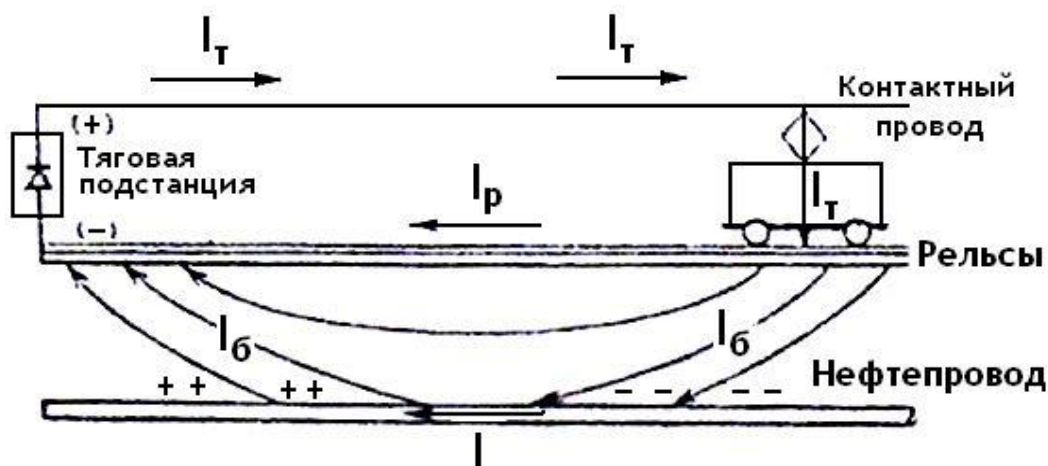


Рис. 16. Схема возникновения блуждающих токов в подземном стальном трубопроводе

Большую опасность представляет собой неравномерное распределение стекающего тока с поверхности подземного сооружения, так как неравномерность утечки приводит к сосредоточенному разрушению металла.

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 металлические сооружения (трубопроводы, кабели, резервуары и т. д.) в течение нескольких месяцев.

Наличие блуждающего тока на трубопроводе устанавливают на основании замеров потенциалов и тока. Опасными величинами являются такие, которые дают сдвиг потенциала от естественного в положительную сторону, причем чем больше этот сдвиг, тем больше вероятность коррозии вследствие возникновения блуждающих токов. При обнаружении на трубопроводе блуждающих токов возникает необходимость принятия защитных мер для предупреждения разрушений.

Для предотвращения больших утечек тока необходимо обеспечить нужное состояние железнодорожного рельсового пути: расстояние между тяговыми подстанциями не должно превышать для однопутных 35 км и для двухпутных — 25 км; сопротивление стыков рельсов не должно превышать сопротивления рельса длиной 3 м; железнодорожный путь должен иметь междупутные соединители через каждые 300 - 600 м.

Все эти мероприятия направлены на уменьшение сопротивления основного пути тока по рельсам.

Для уменьшения действия блуждающих токов применяют: укладку рельсов на шпалы, пропитанные диэлектриком, на бетонные шпалы для увеличения переходного сопротивления от рельсов к земле; укладку путей на щебень; очистку путей от грязи. Схема установки дренажной защиты представлена на рис. 17:

					<i>Электродренажная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		79

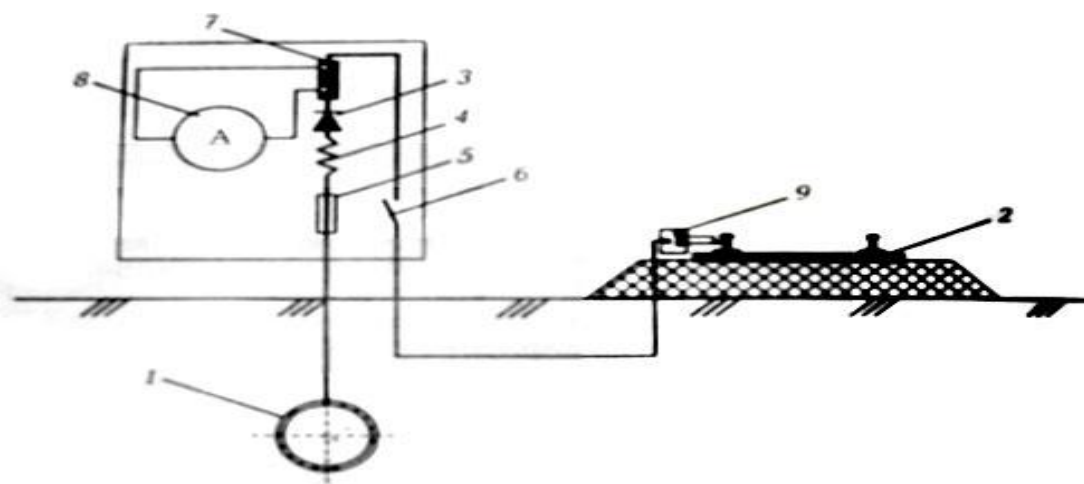


Рис. 17. Схема установки дренажной защиты: 1 – трубопровод; 2 – электрофицированная железная дорога; 3 – диод; 4 – регулируемое сопротивление; 5 – предохранитель; 6 – рубильник; 7 – шунт; 8 – амперметр; 9 – дроссель-трансформатор

Особое внимание следует уделять местам наибольшего сближения рельсов с трубопроводами (в основном переходы).

Места перехода должны быть очень хорошо изолированы. Для этого трубопровод укладывают в кожухи. Трубопровод надежно изолируют от кожуха с помощью изоляторов.

Для уменьшения влияния блуждающих токов на подземные сооружения применяются изолирующие соединения. При этом возрастает продольное сопротивление трубопроводов, что позволяет эффективнее использовать систему ЭХЗ. Однако при этом методе возможно появление новых анодных участков, поэтому он применяется редко.

Изолирующие соединения применяются для следующих целей:

- электрического разъединения основной магистрали и трубой проводов-отводов с иными электрохимическими свойствами;
- электрического разъединения изолированного трубопровода и сооружений, имеющих низкое переходное сопротивление (компрессорные и газорегулирующие станции, промышленные коммуникации, резервуары, предприятия, имеющие рельсовый электротранспорт и т. п.);
- электрического разъединения трубопровода, имеющего катодную защиту, и объектов, не требующих катодной защиты.



В качестве изолирующих соединений используются изолирующие фланцы или муфты.

Изолирующие соединения на магистральных трубопроводах монтируют в отдельных колодцах или укладывают в грунт, в последнем случае они должны быть тщательно изолированы. На станциях регулирования и компрессорных станциях изолирующие соединения, как правило, располагают на поверхности земли.

Анодные зоны, которые могут возникнуть при установке изолирующих соединений, устраняют или применением токоотводов, или шунтированием соединения регулируемым резистором.

Шунтирующий резистор подключают к контактными элементам изолирующего фланца или к трубе изолированным медным проводом сечением 25 — 35 мм<sup>2</sup>. При необходимости обеспечения протекания тока в одном направлении последовательно с резистором устанавливают диод на силу тока не менее 50 А.

Отвод тока с трубопровода в грунт достигается установкой магниевых протекторов. В этом случае в анодной зоне создаются условия катодной защиты данного участка трубы.

#### 4.2. Установки электродренажной защиты

Влияние блуждающих токов можно предупредить или совсем устранить применением установок дренажной защиты (УДЗ), принцип работы которых заключается в устранении анодных зон на подземных трубопроводах при сохранении катодных зон. Этого достигают отводом (дренажом) блуждающих токов с участков анодных зон в рельсовую цепь электротяги или на сборную шину отсасывающих кабелей тяговой подстанции. В зависимости от условий применения дренажные установки можно разделить на четыре группы — прямые, поляризованные, усиленные электродренажные установки и поляризованные протекторные установки (рис. 18).

					<i>Электродренажная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

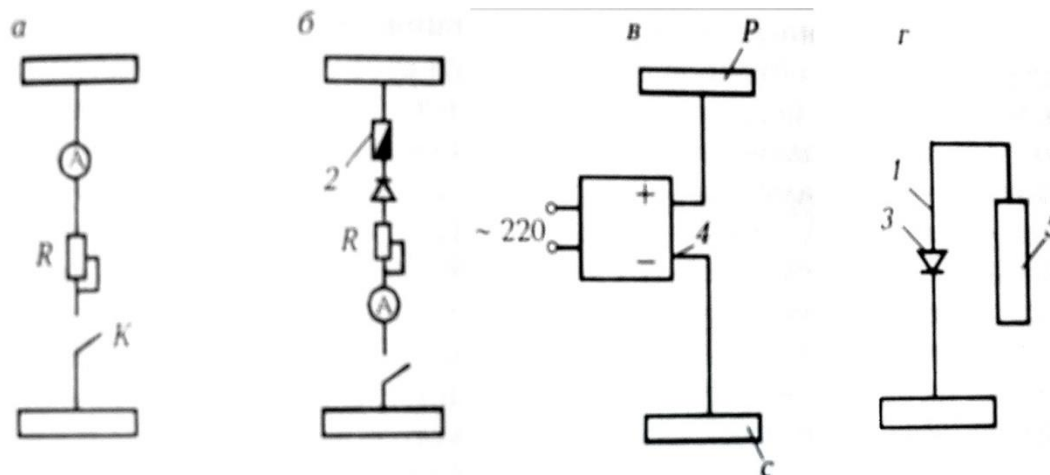


Рис. 18. Схемы электродренажных установок, применяемых для борьбы с блуждающими токами: а – прямой дренаж; б – поляризованный дренаж; в – усиленный дренаж; г – поляризованный протектор; С – сооружение; Р – рельс; 1 – дренажные кабели; 2 – плавкий предохранитель; 3 – полупроводниковый вентиль; 4 – усиленная дренажная установка; 5 – протектор

Наиболее проста по конструкции установка прямого дренажа (рис. 18, а). Она позволяет регулировать реостатом и контролировать по амперметру величину дренажного тока. Прямой дренаж обладает двусторонней проводимостью, применяется в зонах, где потенциал сооружения по отношению к рельсам электрифицированного транспорта всегда положителен. Однако во время аварийных или ремонтных отключений тяговой подстанции возможно перераспределение участков нагрузки между сопряженными тяговыми подстанциями. Это может явиться причиной возникновения в прямом дренаже обратных токов и усугубить коррозионную опасность для трубопровода. Поэтому прямой дренаж применяется только при проведении опытных защит.

Поляризованный электродренаж применяется когда потенциал защищаемого сооружения по отношению к грунту положительный или знакопеременный, а разность потенциалов сооружение - рельс больше разности потенциалов сооружение - грунт. Благодаря введению в схему вентильного элемента поляризованный дренаж обладает односторонней проводимостью, что исключает попадание блуждающих токов в сооружение

по дренажному кабелю при изменении режима работы тяговых подстанций.

Усиленный электродренаж (рис. 18, в) применяют, когда сооружение имеет положительный или знакопеременный потенциал по отношению к грунту, обусловленный действием источников блуждающих токов. Усиленный электродренаж представляет собой катодную установку, в которой отрицательный полюс присоединен к защищаемому сооружению, а положительный — к рельсам электрифицированного транспорта. Такой дренаж кроме отвода блуждающих токов от сооружения к рельсам обеспечивает дополнительную катодную защиту подземного сооружения.

Все электродренажные установки на электрифицированных железных дорогах целесообразно подключать к средней точке путевого дросселя,

Поляризованные протекторные установки (рис 18, г) представляют собой обычную систему протекторов, присоединяемых к защищаемому подземному сооружению через полупроводниковые вентильные элементы. Поляризованные протекторные установки наиболее рационально использовать для защиты подземных сооружений от влияния блуждающих переменных токов. Они дают возможность через протектор снять с металлических конструкций анодный полупериод переменного тока и оставить на них, благодаря наличию в цепи вентильного элемента, катодный полупериод, который обеспечивает их автоматическую катодную защиту. Однако использование протекторных установок не нашло широкого применения.

При сооружении установок дренажной защиты необходимо выполнить следующие виды строительного - монтажных работ: разработку грунта под оборудование и кабельную линию; прокладку кабеля или воздушной линии; монтаж дренажного устройства и защитного заземления; установку контрольно – измерительного пункта и кабельной стойки; монтаж катодного вывода, электрических цепей дренажной установки, устройств грозозащиты, ограждения дренажного устройства; рекультивацию земель.

					<i>Электродренажная защита подземных трубопроводов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		83

## 5. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

### 5.1. Назначение изоляционных покрытий

Изоляционные покрытия металлических сооружений увеличивают омическое сопротивление коррозионной цепи и, следовательно, уменьшают токи коррозии, то есть коррозионное разрушение металла. Для подземных металлических сооружений изоляционное покрытие отделяет поверхность сооружения от почвенного электролита, что предотвращает почвенную коррозию.

### 5.2. Конструкции изоляционных покрытий

Изоляционные покрытия должны обладать следующими свойствами:

- 1) водонепроницаемостью, исключаяющей возможность насыщения пор покрытия почвенной влагой и тем самым препятствующей контакту электролита с поверхностью защищаемой стали;
- 2) хорошей адгезией (прилипаемостью) покрытия к изолируемой стальной поверхности, что предотвращает отслаивание изоляции при местном разрушении ее сплошности, а также исключает проникновение электролита под покрытие;
- 3) сплошностью, обеспечивающей надежность покрытия, так как даже мельчайшая пористость в покрытии приводит к созданию электролитических ячеек и протеканию коррозионных процессов;
- 4) химической стойкостью, обеспечивающей длительную работу покрытия в условиях агрессивных сред;
- 5) электрохимической нейтральностью: отдельные составляющие покрытия не должны участвовать в катодном процессе, в противном случае это может привести к разрушению изоляции при электрохимической защите металлического сооружения;

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Магомедов			Изоляционные покрытия	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Саруев А.Л					84	140
Консульт.								
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						
						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		

- б) механической прочностью, достаточной для проведения изоляционно-укладочных работ при сооружении металлического объекта и выдерживающей эксплуатационные нагрузки;
- 7) термостойкостью, определяемой необходимой температурой размягчения, что важно при изоляции «горячих» объектов, и температурой наступления хрупкости, что имеет большое значение при проведении изоляционных работ в зимнее время;
- 8) диэлектрическими свойствами, определяющими сопротивление прохождению тока, предотвращающими возникновение коррозионных элементов между металлом и электролитом и обуславливающими экономический эффект от применения электрохимической защиты;
- 9) отсутствием коррозионного и химического воздействия на защищаемый объект;
- 10) возможностью механизации процесса нанесения изоляционного покрытия как в базовых, так и в полевых условиях;
- 11) недефицитностью (широкое применение находят только те материалы, которые имеются в достаточном количестве);
- 12) экономичностью (стоимость изоляционного покрытия должна быть во много раз меньше стоимости защищаемого объекта).

Всем этим требованиям не отвечает ни один естественный или искусственный материал, поэтому для изоляции подбирают материалы, отвечающие ряду требований, наиболее характерных для рассматриваемых условий сооружения и эксплуатации объекта. Для изоляции металлических сооружений широко применяют битумные и каменноугольные мастики (пеки), полимерные и оберточные материалы, лаки, краски, эмали.

Согласно действующим нормативно-техническим документам, для защиты нефтегазопроводов от коррозии применяют два типа изоляции: нормальный и усиленный. Усиленный тип защитных покрытий следует применять на трубопроводах диаметром 820мм и более независимо от

					<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85

условий прокладки, а также на всех нефтегазопроводах любого диаметра прокладываемых:

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

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 нефтегазопроводов рекомендовано 22 конструкции защитных покрытий, из них: 19 – усиленного типа и 3 – нормального.

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

- комбинированные на основе мастики и полимерной ленты;
- комбинированные на основе битумно-полимерной мастики и термоусаживающейся ленты;
- ленточные полимерно-битумные;
- полиуретановые и полиуретаново-эпоксидные;

					<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		86

- 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 можно подразделить на битумно-резиновые, битумно-полимерные и битумно-минеральные. Битумные мастики рекомендуется применять для изоляции стальных подземных трубопроводов диаметром не более 820мм с температурой транспортируемого продукта не выше 40°С.

Технические характеристики грунтовок приведены в табл. 6:

						<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			87

## Технические характеристики грунтовок (праймеров)

Показатель	Грунтовка		
	«Транскор»	ПЛ-М	«Биом-2»
Цвет	Черный		
Адгезия битумной мастики к огрунтованной стали при 20°С	0,25	0,25	0,25
Площадь отслаивания при катодной поляризации	3,3	3,8	2,3

Для определения основных характеристик битумов и битумных мастик проводят стандартные испытания, при которых выявляют:

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

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 1,01мм, длиной 50,8мм за 5с при нагрузке 981Н и температуре 25°С;

3) растяжимость (дуктильность) определяет пластичность среды и выражается удлинением, которое наблюдается при растяжении пробы испытываемой мастики, залитой в специальную форму (температура испытания 25°С, скорость растяжения 5см/мин).

Конструкция битумных покрытий сложилась в результате их длительного применения. Сначала идет слой грунтовки, получаемый при нанесении на трубу раствора битума в бензине. Грунтовка заполняет все микронеровности на поверхности трубы.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изоляционные покрытия					88



Грунтовка служит для более полного контакта, а, следовательно, лучшей адгезии между поверхностью трубы и основным 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 нефтегазопроводов применяют мастики «Транскор», «Битэп», «Биом-2», предназначенные для проведения изоляционных работ в зимнее время - «зимние» и в летнее время - «летние», «Изобит» 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 протаскивания, к изоляционным покрытиям предъявляют особо высокие требования: значительная механическая прочность, низкая степень истираемости, высокая адгезия к металлу, химическая стойкость, долговечность. В этих условиях очень привлекательно выглядят антикоррозионные покрытия из полиуретанов. Данный материал обладает высокими изолирующими свойствами, значительной твердостью, эластичностью, чрезвычайно высоким сопротивлением истиранию, царапанию и биоповреждениям. Кроме того, полиуретаны стойки к воде, растворам солей и обладают хорошей адгезией к стали.

					Изоляционные покрытия	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

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 нефтегазопровод 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 0,5-0,7мм. «ПЭКОМ-ОБ» изготавливают из высоконаполненной смеси полиэтилена, синтетического каучука (не более 5%), наполнителя, стабилизатора, битума (не более 10%), модификатора.

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 0,7мм, шириной 500мм, длиной в рулоне 125м. Прочность обертки ПВХ на разрыв составляет не менее 8 МПа.

Существенным недостатком обычных обертки является образование на них гофр в процессе нанесения и при длительной эксплуатации нефтегазопроводов, 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°С 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 (простота нанесения, удобство механизации работ). Однако, по сравнению с битумной изоляцией, полимерные ленты легко

					<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90

уязвимы - острые выступы на поверхности металла, острые камешки легко прокалывают пленочную изоляцию, нарушая сплошность.

С этой точки зрения хороши покрытия на основе битумных мастик, проколоть которые достаточно 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 представляет собой комбинацию битумного и пленочного покрытий: на слой грунтовки наносится битумная мастика толщиной 3-4 мм, которая сразу же (по нагретой до температуры 185°С) обматывается термоусаживающейся лентой. Размер нахлеста регулируется в пределах 3-6 см. В момент намотки полимерного слоя часть мастики выдавливается под нахлест, что обеспечивает герметизацию мест нахлеста.

Изоляционно-укладочные работы в зимнее время проводятся, как правило, с применением полимерно-битумных лент ЛИАМ, ЛИТКОР, ЛИТКОР-НК, ЛИТЭП.

Ленты изоляционные мастичного типа ЛИАМ (лента изоляционная асмольно-модифицированная), ЛИТКОР (с подклеивающим слоем на основе мастики «Транскор»), ЛИТЭП (с подклеивающим слоем на основе мастики «Битэп»), БИЛАР (с подклеивающим слоем на основе мастики «Билар») являются последним достижением в области производства изоляционных материалов для нефтегазопроводов и представляют собой ленту - основу с нанесенным на нее мастичным слоем. Размеры полимерно-битумных лент представлены в табл. 7.

										Лист
										91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Таблица 7

## Размеры полимерно-битумных лент

Тип ленты	Толщина ленты – основы, мм	Толщина мастичного слоя	Общая толщина ленты	Ширина ленты, мм
1	2	3	4	5
ЛИАМ	0,7 – 1,0	0,8 – 1,2	1,5 – 2,2	450 ± 5
ЛИТКОР	0,7	1,8	2,5	450 ± 5
ЛИТЭП	0,7	1,8	2,5	450 ± 5
БИЛАР	0,5 – 0,7	1,0 – 1,5	1,5 – 2,2	450 ± 5

В последние годы разработаны и применяются комбинированные изоляционные покрытия на основе мастик «Транскор», «БиТЭП» и др., а также на основе полимерно-битумных лент ЛИАМ, ЛИТКОР, ЛИТЭП.

Одно из направлений борьбы с коррозией металлических сооружений – применение полимерных покрытий на основе различных лакокрасочных материалов. Достаточно широко используются полимерные покрытия на основе фурановых, полиэфирных, виниловых и эпоксидных смол, полиуретанов, дивинилацетилена и других материалов.

### 5.3. Контроль качества изоляционных покрытий

Контроль качества изоляционных покрытий осуществляется пооперационно в процессе производства работ. Качество приготавливаемой на трассе изоляционной мастики проверяет контрольный пост лаборатории строительной организации; при этом контролируются правильность технологического процесса разогревания битумных материалов, введение в состав мастики наполнителей и пластификаторов, дозировка компонентов и соответствие физико-механических свойств исходных материалов и мастик требованиям ГОСТа и СНиП. Для этого не реже одного раза в день проводят отбор контрольной пробы мастики с целью определения температуры

										Лист
										92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изоляционные покрытия					

размягчения по КиШ. Растяжимость и пенетрацию определяют периодически по требованию заказчика.

Качество очистки, грунтовки и изоляции труб, выполняемых в заводских или базовых условиях, проверяет и принимает служба технического надзора. В полевых условиях качество изоляционных работ, кроме работников строительно-монтажной организации и службы технадзора, контролируют и принимают в эксплуатацию представители службы эксплуатации трубопровода.

Качество очистки трубопровода и нанесения грунтовки проверяют внешним осмотром, качество нанесенного изоляционного покрытия - по мере его наложения путем внешнего осмотра, измерения толщины покрытия, а также определением сплошности и прилипаемости изоляции к металлу.

При внешнем осмотре покрытия выявляются трещины, бугры, вздутия, впадины, расслоения. Наличие трещин и пузырей в покрытии обычно связано с нарушением технологического режима при приготовлении и нанесении изоляционного покрытия. Появление на поверхности битумной мастики сетки трещин или мелких пузырей, расположенных группами, обусловлено перегревом мастики. Аналогичный дефект может быть следствием попадания в покрытие пены, образующейся на поверхности расплавленного битума. Крупные равномерно распределенные пузыри появляются при наличии на поверхности трубы влаги. Равномерно распределенные мелкие пузыри возникают и в том случае, когда мастику наносят на невысохшую грунтовку. При нагреве изолированного трубопровода солнечными лучами (до 40-50°C) на поверхности изоляции образуются неглубокие, как правило, продольные трещины.

Выявленные дефектные места и повреждения изоляции должны быть исправлены методами, обеспечивающими монолитность и однородность покрытия. Наносить новый слой покрытия поверх оберточного покрытия запрещается.

После исправления дефектов ремонтируемые места должны подвергаться вторичному контролю. Готовый трубопровод укладывают в

					<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		93

траншею, засыпают грунтом на 0,3-0,5м и с помощью искателей повреждений изоляции определяют наличие сквозных дефектов изоляции, образовавшихся при засыпке трубопровода грунтом.

Толщину слоя защитного покрытия определяют с помощью ультразвуковых толщиномеров в процессе выполнения изоляционных работ через каждые 100м труб, в местах остановки изоляционной машины, 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 1мм 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°С 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°С, должно быть не менее 35Н/см. Адгезию на трубах проверяют через каждые 100м и выборочно по требованию заказчика.

При нанесении некоторых защитных лакокрасочных покрытий одна из важнейших (а иногда и важнейшая) операций – тщательная подготовка покрываемой поверхности. Даже абсолютно правильные выбранные составы лакокрасочных покрытий не смогут выполнить свою задачу, если их наносить на плохо подготовленную поверхность.

Каждому виду защитных покрытий, каждому методу их нанесения сопутствует специфическая подготовка поверхности. Только в этом случае

					<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		94

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.

					<i>Изоляционные покрытия</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		95

## 6. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

Определить оптимальные параметры катодной защиты магистрального трубопровода диаметром 820 мм, длиной 1200 км, имеющего толщину стенки, равную 9 мм. Трубопровод прокладывается по местности, участки которой имеют следующие значения удельного электросопротивления грунта:

Доля длины трубопровода, l/L	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3
Удельное электросопротивление, Ом·м	170	180	70	40	20	10

Дренажная линия – воздушная с подвеской алюминиевого провода на деревянных столбах с железобетонными приставками. Начальное переходное сопротивление «трубопровод – грунт» равно 9000 Ом·м<sup>2</sup>. Средняя стоимость электроэнергии – 0,02 руб/кВт·ч показатель скорости старения покрытия – 0,125 1/год. Анодное заземление выполнено из электродов длиной 1,4 м, диаметром 0,03 м, массой 10 кг, устанавливаемых непосредственно в грунт. Стоимость одного электрода – 20 руб, электрохимический эквивалент материала электродов – 0,2 кг.

### Решение

1. Определяем среднее значение удельного электросопротивления грунта вдоль трассы трубопровода.

$$\rho_{г.ср} = 170 \cdot 0,1 + 180 \cdot 0,1 + 70 \cdot 0,2 + 40 \cdot 0,1 + 20 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 = 60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Магомедов				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Саруев А.Л					96	140
Консульт.					<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
Рук-ль ООП	Брусник О.В.						
Расчет оптимальных параметров катодной защиты							



2. Продольное сопротивление единицы длины трубопровода

$$R = \frac{0,245 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,009(0,82 - 0,009)} = 10,68 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

3. Сопротивление единицы длины изоляции к концу нормативного срока службы СКЗ

$$R_{из}(\tau_{нс}) = \frac{9000}{\pi \cdot 0,82} \cdot e^{-0,125 \cdot 9,5} = 1066,0 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

4. То же в среднем за нормативный срок службы СКЗ

$$R_{из.ср} = \frac{9000}{\pi \cdot 0,82 \cdot 0,125 \cdot 9,5} (1 - e^{-0,125 \cdot 9,5}) = 2045,8 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

5. Среднее значение входного сопротивления трубопровода за нормативный срок эксплуатации катодных установок

$$Z_{ср} = 0,5 \sqrt{10,68 \cdot 10^{-6} \cdot 2045,8} = 73,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

6. То же к концу нормативного срока эксплуатации

$$Z_{к} = 0,5 \sqrt{10,68 \cdot 10^{-6} \cdot 1066,0} = 53,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

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

$$\alpha = \sqrt{\frac{10,68 \cdot 10^{-6}}{1066,0}} = 1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}$$

8. Задаем удаление анодного заземления от трубопровода  $Y=350$  м и определяем параметр  $\Theta$

$$\Theta = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 53,3 \cdot 10^{-3} \cdot 350} = 0,512$$

					Расчет оптимальных параметров катодной защиты	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

9. Коэффициент взаимного влияния СКЗ

$$K_g = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{0,3}{0,55}\right)^2 \cdot (1 + 0,512)}} = 0,574$$

10. Протяженность зоны защиты трубопровода одной СКЗ к концу нормативного срока эксплуатации

$$l_{скз} = \frac{2}{1 \cdot 10^{-4}} \ln \left[ \frac{0,55}{0,574 \cdot 0,3(1 + 0,512)} \right] = 14957 \text{ м}$$

11. Среднее значение силы тока нагрузки СКЗ

$$I_{op} = \frac{0,55}{73,9 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 2 \exp(1 \cdot 10^{-4} \cdot 14957) + 0,512]} = 3,80 \text{ А}$$

12. Примем, что глубина заложения середины электродов анодного заземления  $h$  равна 2,2 м, а расстояние между ними равно 7 м. Тогда сопротивление растеканию с одиночного вертикального электрода

$$R_{1г} = \frac{0,16 \cdot 60}{1,4} \left( \ln \frac{2 \cdot 1,4}{0,03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 1,4}{4 \cdot 2,2 - 1,4} \right) = 32,2 \text{ Ом}$$

13. Примем число электродов анодного заземления  $n=5$  и по формулам (3.229) вычислим коэффициенты  $A_i$  и  $B_i$ / Расчет коэффициентов представим таблицей:

Таблица 8

i	1	2	3	4
$A_i$	0,63	0,31	0,21	0,16
$B_i$	0,1	0,06	0,033	0,025

14. Сопротивление растеканию с центрального электрода заземления

$$R_{\text{ц}} = 32,2 + \frac{60}{\pi \cdot 1,4} \left\{ \ln \left[ \left( 0,1 + \sqrt{1 + 0,1^2} \right) \sqrt{\frac{0,63 + 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 + 0,1)^2}}{0,63 - 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 - 0,1)^2}}} \right] + \ln \left[ \left( 0,05 + \sqrt{1 + 0,05^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{0,31 + 0,05 + \sqrt{1 + (0,31 + 0,05)^2}}{0,31 - 0,05 + \sqrt{1 + (0,31 - 0,05)^2}}} \right] \right\} = 36 \text{ Ом}$$

15. Сопротивление растеканию с крайнего электрода анодного заземления

$$R_{\text{к}} = 32,2 + \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 1,4} \left\{ \ln \left[ \left( 0,1 + \sqrt{1 + 0,1^2} \right) \sqrt{\frac{0,63 + 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 + 0,1)^2}}{0,63 - 0,1 + \sqrt{1 + (0,63 - 0,1)^2}}} \right] + \ln \left[ \left( 0,033 + \sqrt{1 + 0,033^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{0,21 + 0,033 + \sqrt{1 + (0,21 + 0,033)^2}}{0,21 - 0,033 + \sqrt{1 + (0,21 - 0,033)^2}}} \right] + \ln \left[ \left( 0,025 + \sqrt{1 + 0,025^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{0,16 + 0,025 + \sqrt{1 + (0,16 + 0,025)^2}}{0,16 - 0,025 + \sqrt{1 + (0,16 - 0,025)^2}}} \right] \right\} = 34,9 \text{ Ом}$$

16. Коэффициент экранирования электродов анодного заземления

$$\eta_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 32,2}{36 + 34,9} = 0,91.$$

17. Оптимальное число электродов анодного заземления

$$n'_{\text{э}} = 4,13 \cdot \sqrt{\frac{8,76 \cdot 32,2 \cdot 0,02}{20 \cdot 0,95 \cdot 0,7 \cdot 0,91 \cdot (0,15 + 0,148)}} = 5,16$$

т.е. принятое и расчетное число электродов совпадают.

18. Сопротивление растеканию тока с анодного заземления

$$R_{\text{а}} = \frac{32,2}{5 \cdot 0,91} = 7,08 \text{ Ом}$$

					Расчет оптимальных параметров катодной защиты	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

19. Оптимальное сечение дренажного провода

$$S_{np} = 2,95 \cdot 3,8 \cdot \sqrt{\frac{0,029 \cdot 0,02}{0,01 \cdot 0,7(0,15 + 0,148)}} = 5,91 \text{ мм}^2$$

По табл.3.52 выбираем большее сечение серийно выпускаемых проводов, которое равно  $S_{np}=16 \text{ мм}^2$  (провод А-16).

20. Сопротивление дренажной линии по формуле

$$R_{np} = 0,029 \frac{350}{9,6} = 1,06 \text{ Ом}$$

21. Среднее значение напряжения на выходных контактах СКЗ

$$\Delta E_{cp} = (0,55 - 0,3) + 3,8(1,06 + 7,08) = 31,2 \text{ В}$$

22. Средняя величина мощности, потребляемой СКЗ

$$P_{скз} = 3,8 \cdot 31,2 = 118,6 \text{ Вт}$$

23. В соответствии с найденными значениями  $I_{др.ср}$ ,  $\Delta E_{ср}$  и  $P_{скз}$  по табл. 3.50 выбираем тип катодной станции – КСТ (КСК)-500 с параметрами: мощность -0,5 кВт; напряжение на контактах – 10, 50 В; ток – 10 А; стоимость – 122 руб.

24. Выполняем расчет экономических показателей катодной защиты при принятом удалении анодного заземления от трубопровод

-стоимость одного заземления

$$K_a = 20 \cdot 5 = 100 \text{ руб.}$$

-стоимость опор воздушной линии

$$K_{оп} = 2 \cdot 85 + 25 \left( \frac{350}{50} - 1 \right) = 320 \text{ руб.}$$

					Расчет оптимальных параметров катодной защиты	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

-стоимость провода воздушной линии

$$K_{np} = (0,01 \cdot 9,6 + 1,3) \cdot 350 = 488,6 \text{ руб.}$$

-капитальные затраты на одну СКЗ

$$K_3 = 100 + 320 + 488,6 + 122 = 1030,6 \text{ руб.}$$

-стоимость электроэнергии, потребляемой одной СКЗ

$$\mathcal{E}_a = 0,02 \cdot \frac{118,6}{1000} \cdot 8760 = 20,8 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

-удельные приведенные затраты на катодную защиту

$$\frac{\Pi}{\ell_{скз}} = \frac{20,8 + 1030,6 \cdot (0,15 + 0,148)}{14,957} = 21,9 \frac{\text{руб}}{\text{км}}$$

25. Задавая другие значения удаления анодного заземления от трубопровода, аналогично вычисляем удельные приведенные затраты на катодную защиту и для них. Результаты расчетов представим таблицей.

Таблица 9

Показатели	Их размерность	Величина показателей при удалении, м					
		200	250	300	350	400	450
$K_a$	-	0,592	0,587	0,580	0,574	0,568	0,566
$\ell_{скз}$	м	9150	11050	13106	14957	17201	19806
$I_{ор}$	А	3,05	3,43	3,71	3,80	4,39	4,85
$\Delta E_{cp}$	В	26,8	28,6	29,5	31,2	33,4	37,5
$P_{скз}$	Вт	85,3	89,7	104,3	118,6	126,3	154,9
$K_{оп}$	руб	245	270	295	320	345	370
$K_{np}$	руб	279,0	349,0	418,8	488,6	558,4	632,1
$K_3$	руб	994,2	1080,0	1213,8	1030,6	1413,4	1832,1
$\mathcal{E}_a$	руб/год	15,0	17,7	18,3	20,8	22,1	27,1
$\Pi/\ell_{скз}$	руб/(год· км)	34,0	30,5	29,0	21,9	25,8	28,9

26. По результатам расчета строим график в координатах « $\Pi/\ell_{скз}$ -У» (рис.3.49). Откуда видно, что оптимальным удалением анодного заземления является У=350 м.

27. Для варианта, когда удельные приведенные затраты на катодную защиту минимальны, т.е.  $Y=350$  м, определяем необходимое число СКЗ для защиты всего трубопровода

$$N_{\text{скз}} = \frac{1200 \cdot 10^3}{14957} \cong 80$$

28. Срок службы анодного заземления, установленного в грунт

$$\tau_a = \frac{10 \cdot 0,95 \cdot 5}{3,80 \cdot 0,2} = 62,5 \text{ лет.}$$

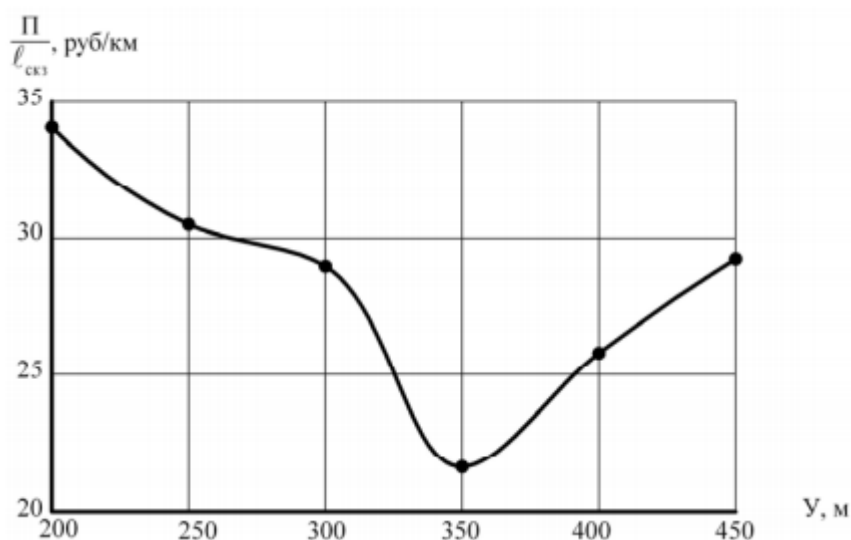


Рис.19. Зависимость удельных приведенных затрат  $\Pi/l_{\text{скз}}$  от удаления анодного заземления от трубопровода  $Y$

Поскольку срок службы анодного заземления превышает 10 лет, то, следовательно, катодная защита трубопровода обеспечена. В противном случае необходимо было бы увеличить число электродов анодного заземления.

## 7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время трубопроводный транспорт углеводородов — одна из важнейших составных частей производственной инфраструктуры, ее устойчивое развитие – в числе приоритетных задач в российской и мировой системе поставок углеводородов.

При транспортировке нефти и газа особое внимание следует уделять целостности трубопровода. При разрыве трубопровода причиняется огромный ущерб окружающей среде и материальным потерям на ликвидацию аварии.

Поэтому, повышение эффективности эксплуатации трубопровода напрямую зависит от его целостности.

Таким образом, целью данного раздела является анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения технологий и разработок для определения наиболее эффективного способа нанесения изоляционных покрытий.

### 7.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

#### 7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Изоляцию катушек, мест ремонта МТ, мест заварки стыков следует производить после получения заключения о качестве сварки, оформления разрешения на изоляцию и до заполнения МТ.

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ф.И.О. студ.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Креп В.Г.					103	140
Консульт.						ТПУ гр. 2Б6А		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

Производство работ по изоляции катушки, соединительной детали, запорной арматуры должно выполняться по нарядам-допускам и требованиям, указанным в ППР.

### 7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для сравнения взяты 2 способа изоляции трубопровода:

- термоусаживающаяся полимерная лента
- рулонно битумно-полимерный материал

При оценке качества используется два типа критериев: технические и экономические. Веса показателей в сумме составляют 1. Баллы по каждому показателю оцениваются по пятибалльной шкале.

Конкурентоспособность конкурента К:

$$K = \sum V_i * B_i$$

где  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Проводим анализ с помощью оценочной карты (таблица 10).

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104



## Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкуренто- способность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	3	1,1	0,9
2.Удобство в эксплуатации	0,1	4	3	0,4	0,4
3.Энергоэкономичность	0,05	3	4	0,13	0,18
4.Надёжность	0,15	4	2	0,5	0,3
5.Безопасность	0,1	4	3	0,3	0,4
6.Простота эксплуатации	0,1	5	3	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
1.Конкурентоспособность продукта	0,05	5	3	0,16	0,16
2.Цена	0,1	3	5	0,2	0,3
3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	4	0,6	0,4
4.Финансирование научной разработки	0,05	4	3	0,15	0,13
Итого	1	40	34	3,94	3,57

К<sub>ф</sub> - Применение термоусаживающей полимерной ленты;

К<sub>к1</sub> - рулонно битумно-полимерный материал;

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что конкурентоспособность применения термоусаживающей полимерной ленты

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

составляет 3,94, в то время как показатели другого способа 3,57. Уязвимость конкурента обусловлена низкими показателями надёжности, сроком эксплуатации, а также незначительными показателями повышения производительности труда пользователя.

### 7.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, заключающийся в выявлении факторов внешней и внутренней среды, оказывающих влияние на реализацию проекта. Факторы делятся на четыре категории: сильные стороны, слабые стороны, возможности и угрозы.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Слабые стороны – это недостатки, упущения или ограничения научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию, возникающую в условиях окружающей среды проекта, которая поддерживает спрос на результаты проекта. Угрозы – это нежелательные ситуации, тенденции или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Результаты SWOT-анализа исследования, проведенного в рамках данной выпускной квалификационной работы, представлены в таблице 11.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>С1. Высокая эффективность технологии</p> <p>С2. Разнообразные технологические решения в технологии эксплуатации.</p> <p>С3. Нефтепродуктопровод пользуется массовым спросом</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Высокая стоимость материалов и оборудования</p> <p>Сл2. Труднодоступность большого количества материалов</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной структуры ТПУ</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки</p>	<p>– Использована более свежая информация, которая была использована для разработки технологии может уменьшить конкурентоспособность других</p>	<p>– Применение опыта работы компаний-партнеров</p> <p>– Повышение уровня сотрудничества с компаниями другого профиля</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Возможность отказа заказчика от данной работы из-за высокой стоимости</p> <p>У2. Истощение запасов месторождений</p>	<p>– Постоянное отслеживание изменений в законодательстве</p> <p>– Повышенная качественная характеристика материалов</p>	<p>– Создание универсального алгоритма подбора технологического оборудования</p> <p>– Переквалификация сотрудников предприятия</p>

Результаты анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Анализируя результаты SWOT-анализа, можно утверждать, что реализация представленных возможностей позволяет выгодно реализовать сильные стороны и уменьшить влияние слабых.

## 7.2 Планирование исследовательской работы в рамках ВКР

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проводимого исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

построение графика проведения исследований и разработки проектной документации

### 7.2.1 Структура работ в рамках проводимого исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проведения научно-исследовательских работ. Для построения графика необходимо составить план выполнения проекта с указанием вида работы, длительности их исполнения и участников, ответственных за исполнение каждого пункта плана.

План производства работ по реализации научно-исследовательского проекта представлен в таблице 12.

Таблица 12

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
	5	Определение объёма и частей	Студент

Теоретическое исследование	6	Проведение теоретического исследования темы	Студент
	7	Проведение расчётов	Студент
	8	Разработка части «финансовый менеджмент»	Студент
	9	Разработка части «социальная ответственность»	Студент
Обобщение и анализ результатов	10	Оценка эффективности проделанных работ	Студент
Оформление отчёта	11	Составление пояснительной записки	Студент
	12	Разработка презентации	Студент

### 7.2.2 Определения трудоёмкости работ

Трудовые затраты являются основной частью стоимости исследования.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер.

Среднее (ожидаемое) значение трудоемкости:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min\ i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн..

После определения ожидаемой трудоемкости работ необходимо рассчитать продолжительность каждой из работ в рабочих днях  $T_p$ . Величина  $T_p$  учитывает параллельность выполнения этих работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  
 $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчета приведены в таблице 4 .

### 7.2.3 Разработка графика проведения исследовательской работы

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по разрабатываемому проекту представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Длительность каждого этапа работ из всех рабочих дней могут быть переведены в календарные дни с помощью следующей формулы:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляем до целого числа.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110

Предполагается что и руководитель, и студент работают по 6-дневной рабочей неделе. По производственному календарю на 2020 год суммарное количество календарных составляет 366 дней, выходных и праздничных дней при шестидневной рабочей неделе составляет – 66 дней.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляются до целого числа (таблица 13).

Таблица 13

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел–дни		$t_{max}$ , чел–дни		$t_{ож}$ , чел–дни					
	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент	Руководитель	Студент
Составление и утверждение технического задания	1		3		1,8	0	1,8	0	3	0
Разработка общей методики проведения исследований	1	1	2	2	1,4	1,6	1,4	0,6	2	1
Подбор и изучение материалов по теме		4		4	0	3,4	0	3,4	0	6
Календарное планирование работ	1		2		1,4	0	1,4	0	2	0
Определение объёма и частей		1			0	1,3	0	1,5	0	3
Проведение теоретического исследования темы		9		14	0	10,9	0	11,4	0	18

Продолжение таблицы 13

Проведение расчётов		8		9	0	8,1	0	7,7	0	12
Разработка части «финансовый менеджмент»		5		7		7,1	0	6,5	0	7
Разработка части «социальная ответственность»		5		6	0	4,5	0	4,9	0	6
Оценка эффективности проделанных работ		4		6	0	5,3	0	5,7	0	4
Составление пояснительной записки		3		7	0	4,2	0	4,5	0	3
Разработка презентации		5		5	0	2,9	0	2,9	0	5
Итого	3	45	7	60	4,6	49,3	4,6	49,1	7	65

На основе таблицы 13 строим план график, представленный в таблице 14.

Таблица 14

Календарный план график проведения НИР по теме

№ работы	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ								
				март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3									
2	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель, студент	2									
3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	6									

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						112



Продолжение таблицы 14

4	Календарное планирование работ	Руководитель	2								
5	Определение объёма и частей	Студент	3								
6	Проведение теоретического исследования темы	Студент	18								
7	Проведение расчётов	Студент	12								
8	Разработка части «финансовый менеджмент»	Студент	6								
9	Разработка части «социальная ответственность»	Студент	5								
10	Оценка эффективности проделанных работ	Студент	3								
11	Составление пояснительной записки	Студент	3								
12	Разработка презентации	Студент	5								

 - студент

 - руководитель

### 7.3. Бюджет проводимого исследования

При планировании бюджета проводимого исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей проекта;
- дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 7.3.1. Расчет материальных затрат НИИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования шт, кг, м, м<sup>2</sup>

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте Единой информационной системы в сфере закупок.

Величина коэффициента  $k_T$ , отражающего соотношение затрат по доставке

материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договора

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Лист

114

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 15.

Таблица 15

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, З <sup>м</sup> , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Тетради	шт.	150	130	250	0,60	0,60	0,60	90	78	150
Маркеры	шт.	1	1	1	60	60	60	60	60	60
Ручки	шт.	4	3	2	15	15	15	60	45	30
Папка	шт.	-	-	1	-	-	140	0	0	140
Мультифора	шт.	3	3	2	15	15	15	45	45	30
Расходы на транспорт 18%								46	41	74
ИТОГО:								255	228	484

### 7.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Сюда включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (программного обеспечения), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 7). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для проведения научного исследования необходимо специальное оборудование такое, как компьютер, с установленными специальными программами и с соответствующим программным обеспечением, а также принтер.

Таблица 16

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

Расчет затрат на оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, З <sup>м</sup> , руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Компьютер	шт.	1	1	1	55000	35000	41000	55000	70000	41000
Принтер	шт.	1	1	1	7500	5600	7300	7500	5600	7300
Итого:								62500	75600	48300

В таблице 7 не указана стоимость программ, необходимых для проведения исследования. Это связано с тем, что их использование предоставляется бесплатно всем пользователям в сети интернет.

### 7.3.3 Расчет затрат на оплату труда

Данный раздел отображает основную заработную плату научных сотрудников и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ в рамках проекта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	116	

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d}$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней. (таблица 17).

Таблица 17

Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	
Количество нерабочих дней:		
- выходные и праздничные дни	54	
Потери рабочего времени:		
- отпуск, невыходы по болезни	38	
Действительный годовой фонд рабочего времени	273	

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p,$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

#### 1) Расчёт заработной платы

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

$$Z_{\text{м.рук}} = 45000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 87750 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{м.ст}} = 3000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 5850 \text{ руб.}$$

2) Расчет среднедневной заработной платы:

$$Z_{\text{дн.рук}} = \frac{87750 * 10,4}{273} = 3342 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.ст}} = \frac{5850 * 10,4}{273} = 222 \text{ руб.}$$

3) Расчет основной заработной платы:

$$Z_{\text{осн.рук}} = 2862 * 7 = 20034 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.ст}} = 114 * 61 = 6954 \text{ руб.}$$

Результат расчетов представлен в таблице 18.

Таблица 18

Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	45000	0,3	0,2	1,3	87750	3342	7	23394
Студент	3000	0,3	0,2	1,3	5850	222	61	13542
Затраты по заработной плате, руб.	36936							

Таким образом, суммарные затраты на основную заработную плату составляют 36936 рублей

### 7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}},$$

где:  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{\text{доп.рук}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,15 * 23394 = 3509,1 \text{ руб.};$$

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		118

$$Z_{\text{доп.ст}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,15 * 6954 = 2031,3 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{доп.рук}} + Z_{\text{доп.ст}} = 3509,1 + 2031,3 = 5540,4 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарные затраты на дополнительную заработную плату составляют 5540,4 рублей.

### 7.3.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ): 22% – на пенсионное страхование; 5,1 % – на медицинское страхование; 2,9 % – на социальное страхование.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 19

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Студент	13542	2031,3
Руководитель проекта	23394	3509,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	
Итого:	12743	

### 7.3.6 Расчет накладных расходов

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		119

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) * k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы равный 0,16.

$$Z_{\text{накл1}} = (255 + 62500 + 36936 + 5540,4 + 12743) \cdot 0,16 = 18876 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{накл2}} = (228 + 75600 + 36936 + 5540,4 + 12743) \cdot 0,16 = 20968 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{накл3}} = (484 + 48300 + 36936 + 5540,4 + 12743) \cdot 0,16 = 16640 \text{ руб.}$$

### 7.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Рассчитанная величина затрат на проведение исследовательской работы является основой для формирования бюджета.

Определение бюджета затрат на проведение исследовательской работы приведено в таблице 20.

Таблица 20  
Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НИИ	255	228	484	Пункт 3.1
2. Затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	62500	75600	48300	Пункт 3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	36936			Пункт 3.3



4. Затраты по дополнительной заработной плате исп. темы	5540,4			Пункт 3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	12743			Пункт 3.5
6. Накладные расходы	18876	20968	16640	16% от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	136850	152015	120643	Сумма ст. 1-6

#### 7.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают входе оценки бюджета затрат вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), скоторым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно–исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		121

Для 1-го варианта исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{136850}{152015} = 0,90$$

Для 2-го варианта исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{152015}{152015} = 1$$

Для 3-го варианта исполнения:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{120643}{152015} = 0,79$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки.

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i,$$

где:  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – бальная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 21

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Повышение производительности труда пользователя	0,3	6	3	4
2. Удобство в эксплуатации	0,18	3	4	3
3. Энергоэкономичность	0,18	6	4	3
4. Надёжность	0,21	5	2	4
5. Безопасность	0,17	5	4	4
6. Простота эксплуатации	0,17	3	3	3
Итого	1,21	4,6	3,3	3,5

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,6}{0,90} = 5,11;$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}} = \frac{3,3}{1} = 3,3;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} = \frac{3,5}{0,79} = 4,43$$

Из расчетов видно, что наиболее целесообразный вариант проекта разработки НТИ произведен в первом исполнении.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{срi}$ ):

$$\mathcal{E}_{срi} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 22

Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,90	1	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,3	3,5
3	Интегральный показатель эффективности	5,11	3,3	4,43
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,15	1,54	0,75

Из полученных данных видим что, наиболее эффективным оказалась разработка под исполнением 1.

Вывод по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Анализ конкурентоспособности показал преимущество применения термоусаживающей полимерной ленты . Использование такого способа является эффективным.

SWOT-анализ показал внутренние и внешние сильные и слабые стороны а так же угрозу проекту . по нашим результатам можно сказать что этот проект является перспективным.

Так же планирование показало что суммарная длительность работ руководителя и студента составляет 68 дней.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		124

## 8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Введение

В данной 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.

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.

Условным рабочим местом является магистральный нефтепровод подземного исполнения.

### 8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

#### 8.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормальная продолжительность рабочего времени на нефтепроводах и на линейной части магистрального нефтепровода для работников и специалистов - 40 часов в неделю,

Нормальная продолжительность рабочего времени на работах с вредными условиями труда - 36 часов в неделю.

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Магомедов			Социальная часть	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Саруев А.Л					125	140
Консульт.								
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						
						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		



## 8.2 Производственная безопасность

### 8.2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Производственная безопасность — система организационных мероприятий и технических средств, которые предотвращают или уменьшают вероятность воздействия на человека, опасных и травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ на участке магистрального нефтепровода.

Таблица 23

Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работы	Нормативные документы
	Ремонтно-восстановительные работы при диагностировании РВС	
1. Высокая загазованность воздушной среды	+	ГОСТ 12.1.005-88[9]; ГН 2.2.5.3532-18[10];
2. Превышение уровней шума	+	ГОСТ 12.1.003-2014 [7]; ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [8].
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	СП 52.13330.2016 [6].

4. Превышение уровней вибрации	+	ГОСТ 12.1.012-90 СБТ[5];
5. Электрический ток	+	ГОСТ 12.1.045-84 [1]; ГОСТ 12.1.030-81 [2]; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. [3].
6. Взрывоопасность и пожароопасность	+	ГОСТ 12.1.010-76[4].

### 8.3. Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

#### 8.3.1. Загазованность воздушной среды

В результате испарения углеводородов в окружающем воздухе может возникнуть опасное содержание паров нефти.

Контроль воздушной среды должен проводиться:

- с периодичностью 1 раз в 30 мин;
- по первому требованию ответственного лица за проведение работ;
- по первому требованию исполнителей работ по наряду-допуску;
- после перерыва в работе 1 час.



Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализаторов АНТ-3, АНТ-3м, Колион-1.

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 нефти ПДК равно 300 мг/м<sup>3</sup>. Нефть по санитарным нормам относится к 4-му классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на углерод) – 300 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

### **8.3.2. Превышение уровней шума**

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. В соответствии с ГОСТ 12.1.003 – 2014 [11] допустимый уровень шума составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления свыше 135 дБА.

Шум может создаваться работающим оборудованием: Тягач, кран, насосный агрегат и др.

Средства и методы коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на:

- акустические (средства звукоизоляции; звукопоглощения);

										Социальная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							129

- архитектурно-планировочные (звукоизолирующие ограждения зданий и помещений; звукоизолирующие кожухи, кабины);
- организационно-технические (применение малошумных технологических процессов; оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля).

### 8.3.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Для проведения работ на участке магистрального нефтепровода необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 20 лк независимо от применяемых источников света. При подъеме или перемещении грузов должна быть освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов.

### 8.3.4. Превышение уровней вибрации

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116дБ.

Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц. Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

- применением вибробезопасного оборудования и инструмента; применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;
- организационно-техническими мероприятиями (поддержание в условиях эксплуатации технического состояния машин и механизмов на уровне, предусмотренном НТД на них; введение режимов труда,

					Социальная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		130



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

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

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

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

#### **8.4.2. Взрывоопасность и пожароопасность**

Возможной причиной появления очагов возгорания могут быть сбои в работе насосного оборудования, неисправность проводки и нарушение техники безопасности работниками. При загорании реагента

					Социальная часть	Лист
						133
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

необходимо изолировать пожарную зону в радиусе 800 м, вызвать пожарную охрану, не приближаться к горящим емкостям. Охлаждать емкости холодной водой с максимального расстояния, тушить огонь с максимального расстояния мелко тонкораспыленной водой, химической, воздушно-механической пеной и другими средствами пожаротушения. Для тушения использовать песок, землю, кошму и другие подручные средства, огнетушители марки ОП, ОУ .

Первичные средства пожаротушения (порошковый, углекислотный огнетушители, песок), пожарное оборудование, инвентарь должны содержаться в полной исправности.

Запрещается на территории БДР курение, применение любых источников огня. При отсутствии электроосвещения допускается пользоваться взрывобезопасными аккумуляторными фонарями. При ремонтных работах применять искробезопасный инструмент. Не допускается скопление реагента, ветоши внутри или на территории установки; места загрязнений должны засыпаться и пропитываться сорбентом, песком, использованный обтирочный материал, удалять в специально отведенные места утилизации.

Для тушения очага возгорания внутри БДР использовать порошковый огнетушитель, песок, кошму, с позиции более 2-х метров от очага – углекислотный огнетушитель. При пожаре обесточенной установки использовать порошковые составы, тонко распыленную воду, химические пены.

В качестве огнегасительных средств категорически запрещается подача компактных струй воды. Присутствует система сигнализации о пожаре . При появлении любых неисправностей во время работы, в том числе пожарной опасности, необходимо в первую очередь обесточить БДР. Для тушения БДР под напряжением используют порошковый огнетушитель.

## 8.5. Экологическая безопасность

### 8.5.1 Защита атмосферы

При попадании в атмосферу вредные вещества физико - химически преобразуются, а впоследствии либо рассеиваются, либо вымываются.

Предельная допустимая концентрация испарений в нефти составляет не более 10 мг/м<sup>3</sup>. Для снижения уровня загрязнения атмосферы выбросами углеводородов необходимо осуществлять мероприятия по сокращению потерь нефти в результате аварийного разлива нефтепровода и выбросов токсичных испарений. Для устранения возможных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из магистрального нефтепровода по причине не плотности технологического оборудования осуществляется комплекс мероприятий:

1. Проверка оборудования на прочность и герметичность;
2. Соблюдение правил эксплуатации;
3. Своевременная замена уплотнений насосов и запорной арматуры.

### 8.5.2. Защита гидросферы

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами приводит к появлению нефтяных пятен, что затрудняет процессы фотосинтеза в воде из-за прекращения доступа солнечных лучей, а также вызывает гибель растений и животных. Каждая тонна нефти создает нефтяную пленку на площади до 12 кв. км. Восстановление пораженных экосистем занимает 10-15 лет.

Нефть, попадая в воду, растекается вследствие ее гидрофобности по поверхности, образуя тонкую нефтяную пленку, которая перемещается со скоростью примерно в два раза большей, чем скорость течения воды. При соприкосновении с берегом и прибрежной растительностью нефтяная пленка оседает па них. В процессе распространения по поверхности воды, легкие фракции нефти частично испаряются.

									Лист
									134
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная часть				

растворяются, а тяжелые опускаются в толщу воды, оседают на дно и образуют донное загрязнение . Биохимическое окисление нефти сопровождается интенсивным поглощением кислорода воды. В среднем на окисление 1 мг нефти затрачивается от 0,5 до 3,5 мг кислорода.

### 8.5.3. Защита литосферы

Общая особенность всех нефтезагрязненных почв – изменение численности и ограничение видового разнообразия педобионтов (почвенной мезо- и микрофауны и микрофлоры). Последствия возникновения нефтяного загрязнения почв носят губительный характер.

Для разных почв процесс реанимации проходит по-разному. Зависит он и от глубины проникновения продуктов в основание. Например, время реанимации почв достигает 25 лет при концентрации отходов 12 литров на квадратный метр. Временной интервал зависит от типа основания и погодных условий.

### 8.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Чрезвычайные ситуации на трубопроводном транспорте могут возникнуть по различным причинам, например, паводковые наводнения, лесные пожары, террористические акты, по причинам техногенного характера (аварии) и др.

Наиболее распространенными ЧС на магистральных нефтепроводах являются аварийные разливы нефти и нефтепродуктов.

									Социальная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						135

При возникновении аварийных разливов нефти возможны:

- загрязнение почвы на значительной территории;
- воздушная ударная волна при взрыве газовой среды;
- термическое воздействие пожара при возгорании вытекающей из трубопровода нефти;
- загазованность территории.

Оперативные действия при ликвидации аварийных разливов нефти:

- сообщить мастеру участка по обслуживанию нефтепровода (мастеру по добыче нефти и газа) об аварии;
- прекратить транспортировку нефти по трубопроводу;
- вызвать аварийную бригаду;
- вызвать пожарную часть;
- принять меры к недопущению возгорания и растекания нефти;
- обозначить зону загазованности. Выставить в наиболее опасных местах посты для предупреждения проникновения в опасную зону людей, транспортных средств, животных;
- организовать сбор разлившейся нефти до максимально достижимого уровня;
- произвести размещение собранной нефти для последующей утилизации, исключая вторичное загрязнение производственных объектов и объектов окружающей среды;
- произвести завершающие работы по ликвидации последствий разливов нефти, реабилитации загрязненных территорий.

Эти операции проводить в соответствии с проектами (программами) рекультивации земель и восстановления водных объектов. Полученное положительное заключение государственной экологической экспертизы указывает на качество проведенных работ.

Вывод по главе «Социальная ответственность».

										Лист
										136
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



В ходе выполнения задания по главе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, которые могут оказать влияние на организм человека при работе на ЛЧМН. Был сделан вывод, что основным негативным фактором воздействия на почву является загрязнение ее нефтепродуктами, следовательно необходимо в обязательном порядке выполнять требования экологической, производственной безопасности.

					Социальная часть	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		137

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенной мной работы я углубленно ознакомился с процессами электрохимической коррозии, а также узнал много нового о том, как проводится контроль качества изоляционных покрытий, о различных видах изоляционных покрытий и в итоге мне бы хотелось выделить основную, на мой взгляд, мысль: 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.

Процессы очистки и изоляции магистральных трубопроводов в настоящее время полностью механизированы. Поверхность трубопроводов очищается при помощи самоходных очистных машин, а изолируется при помощи также самоходных изоляционных машин. В холодное время года трубопровод перед нанесением изоляции прогревается перемещающейся по нему установкой для сушки и подогрева трубы.

Мастика приготавливается на заводах или непосредственно на трассе в специальных установках и подвозится к местам изоляции в расплавленном виде битумозаправщиками (битумовозами).

					<i>«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Магомедов</i>			<b>Заключение</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Саруев А.Л</i>					<i>138</i>	<i>140</i>
<i>Консульт.</i>						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брусник О.В.</i>						

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Я.М. Колотыркин «Металл и коррозия» - М.: Металлургия, 1984;
2. М.В. Кузнецов, В.Ф. Новоселов «Противокоррозийная защита трубопроводов и резервуаров» - М.: Недра, 1992;
3. Н.Д. Томашов «Теория коррозии и защиты металлов» - М.: АН СССР, 1959;
4. Г.Г. Улиг, Р.У. Ревы «Коррозия и борьба с ней» - Л.: Химия, 1989;
5. В.И. Хижняков «Противокоррозийная защита объектов трубопроводного транспорта нефти и газа» - Томск: ТПУ, 2005;
6. Руководящий документ РД-16.01-60.30.00-КТН-102-1-05 «Методика расчета на прочность и долговечность труб с коррозионными дефектами потери металла»;
7. Строительные нормы и правила СНиП 2.05.06-85\* «Нагрузки и воздействия»;
8. РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии
9. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н. Д. Томашов. — М.: АН СССР, 1959. — 250 с.;
- 10.Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков, А.Г. Гумеров «Защита трубопроводов от коррозии» - ООО «Недра», 2007.
11. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
- 12.Маркин А. Н., Низамов Р. Э. СО<sub>2</sub>-коррозия нефтепромыслового оборудования. –М.: ВНИИОЭНГ, 2003.
13. СП 36.13330.2012. Свод правил. Магистральные трубопроводы;

					«Коррозионная защита магистральных трубопроводов в грунтах с различной коррозионной активностью»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Магомедов			Список литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Саруев А.Л					139	140
Консульт.						<b>ТПУ гр. 2Б6А</b>		
Рук-ль ООП		Брусник О.В.						

14. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
15. ГОСТ Р 12.1.013-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
16. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
17. Трудовой кодекс №197-ФЗ.

					Список литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		140