

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

---

Институт природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и  
 продуктов переработки»  
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

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

УДК 622.692.4.053:620.193

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б3А	Садыков И.Е.		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В. Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер	Грязнова Е. Н.	—		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

И.О. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		

# ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ БАКАЛАВРИАТА

## 21.03.01 Нефтегазовое дело

### Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>В соответствии с общекультурными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</b>		
P1	Приобретение профессиональной эрудиции и широкого кругозора в области гуманитарных и естественных наук и использование их в профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-7, ОК-8) (ЕАС-4.2а) (АВЕТ-3А)
P2	Уметь анализировать экологические последствия профессиональной деятельности в совокупности с правовыми, социальными и культурными аспектами и обеспечивать соблюдение безопасных условий труда	Требования ФГОС ВО (ОК-3, ОК-4, ОК-7, ОК-9) ПК-4, ПК-5, ПК-13, ПК-15.
P3	Уметь самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОК-7, ОК-8, ОК-9) (АВЕТ-3i), ПК1, ПК-23, ОПК-6, ПК-23
P4	Грамотно решать профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6) (ЕАС-4.2d), (АВЕТ3e)
<b>в области производственно-технологической деятельности</b>		
P5	Управлять технологическими процессами, эксплуатировать и обслуживать оборудование нефтегазовых объектов	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-15)
P6	внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ПК-5, ПК-6, ПК-10, ПК-12)
<b>в области организационно-управленческой деятельности</b>		
P7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	Требования ФГОС ВО (ОК-5, ОК-6, ПК-16, ПК-18) (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d)
P8	Осуществлять маркетинговые исследования и участвовать в создании проектов, повышающих эффективность использования ресурсов	Требования ФГОС ВО (ПК-5, ПК-14, ПК17, ПК-19, ПК-22)
<b>в области экспериментально-исследовательской деятельности</b>		
P9	Определять, систематизировать и получать необходимые данные для экспериментально-исследовательской деятельности в нефтегазовой отрасли	Требования ФГОС ВО (ПК-21, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26)
P10	Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26.) (АВЕТ-3b)
<b>в области проектной деятельности</b>		
P11	Способность применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	Требования ФГОС ВО (ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30) (АВЕТ-3c), (ЕАС-4.2-e)



<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p>(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).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коррозия объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа</li> <li>2. проанализировать виды и причины коррозии</li> <li>3. проанализировать методы защиты от коррозии</li> <li>4. расчет количества катодных установок, максимальной глубины коррозии</li> <li>5. финансовый менеджмент;</li> <li>6. социальная ответственность;</li> <li>7. формирование выводов о проделанной работе.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Романюк В.Б.</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Грязнова Е.Н.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p> </p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

<p><b>Должность</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Ученая степень, звание</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>доцент</p>	<p>Саруев А.Л.</p>	<p>доцент</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p><b>Группа</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>2Б3А</p>	<p>Садыков Ильдар Ерболатович</p>		

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

Институт природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»  
 Уровень образования бакалавриат  
 Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа  
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2017 г
--	--------------

<i>Дата контроля</i>	<i>Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)</i>	<i>Максимальный балл раздела (модуля)</i>
10.03.2017	<i>Причины коррозии на магистральных трубопроводах</i>	10
23.03.2017	<i>Методы защиты магистральных трубопроводов от коррозии</i>	10
25.04.2017	<i>Расчетная часть</i>	30
11.05.2017	<i>Социальная ответственность</i>	10
20.05.2017	<i>Финансовый менеджмент</i>	10
21.05.2017	<i>Заключение</i>	10
24.05.2017	<i>Презентация</i>	20

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

И.О. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Бурков П.В.	к.т.н, доцент		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б3А	Садыкову Ильдару Ерболатовичу

<b>Институт</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТХНГ</b>
<b>Уровень образования</b>	бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	<b>21.03.01 «Нефтегазовое дело»</b>

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В данном разделе ВКР необходимо представить: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др. Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 18%

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Расчет затрат и финансового результата реализации проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	График выполнения работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет экономической эффективности внедрения новой техники или технологии

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

1. Линейный календарный график выполнения работ
2. Структура сметной стоимости работ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2Б3А	Садыков Ильдар Ерболатович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б3А	Садыкову Ильдару Ерболатовичу

<b>Институт</b>	<b>ИПР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТХНГ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	210301

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является магистральный трубопровод, применяемый для транспортировки нефти. Область применения: для сооружения магистральных газонефтепроводов, нефтепродуктопроводов, технологических и промысловых трубопроводов.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Проанализировать вредные факторы при эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение параметров микроклимата на открытом воздухе</li> <li>– Повышенный шум</li> </ul> <p>Повреждения в результате контакта с насекомыми</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенная загазованность воздуха рабочей среды</li> </ul> <p>1.2. Проанализировать опасные факторы при эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Механические травмы при основных видах работ</li> <li>– Поражение электрическим током</li> <li>– Пожаро- и взрывобезопасность</li> </ul>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны;</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны;</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul>	<p>3. Анализ возможных чрезвычайных ситуаций на объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– разработка мероприятий по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий и схемы оповещения в</li> </ul>

– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	результате возникшей ЧС и мер по ликвидации ее последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	05.04.2017
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Е.Н. Грязнова	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б3А	Садьков Ильдар Ерболатович		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 127 с., 17 рис., 18 табл., 42 источник.

Ключевые слова: защита от коррозии, магистральный газонефтепровод, подземные сооружения, коррозия, технология.

Объектом исследования является технология защиты магистральных газонефтепроводов от коррозии.

Цель работы – проанализировать технологию защиты магистральных газонефтепроводов от коррозии.

В процессе работы были рассмотрены виды и причины возникновения коррозии, методы защиты от коррозии. Приведены мероприятия по охране труда и безопасном проведении работ, охране окружающей среды, технико-экономическая часть.

В результате работы был проведен расчет количества катодных установок, максимальной глубины коррозии.

## ESSAY

Graduation qualification work 127 p., 17 fig., 18 tab., 42 sources.

Keywords: protection against corrosion, trunk gas and oil pipeline, underground constructions, corrosion, technology

The object of this study is technology of protection of the main gas and oil pipelines against corrosion.

The purpose of work – to analyze technology of protection of trunk gas and oil pipelines against corrosion.

In the process of work types and the causes of corrosion, methods of protection against corrosion are considered. Actions for labor protection and safe work, environmental protection, a technical and economic part are given.

As a result of work calculation of number of cathodic installations, the maximum depth of corrosion has been carried out.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

**КРН** – коррозионное растрескивание сталей;

**ВНИИСТ** – Всероссийский научно исследовательский институт по строительству и эксплуатации трубопроводов ;

**КПД** – коэффициент полезного действия;

**ВИПС** – Всесоюзный институт сплавов;

**КИП** – контрольно-измерительные приборы;

**КИК** – командно-измерительный комплекс;

**ЭХЗ** – электрохимическая защита;

**УДЗ** – установка дренажной защиты;

**ПВХ** – поливинилхлоридная лента;

**МЭС** – магистральные электрические сети;

## Оглавление

Введение .....	14
Глава 1. Литературный обзор .....	18
1 КОРРОЗИЯ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА .....	18
1.1 Классификация коррозионных процессов .....	18
1.2 Виды коррозионных разрушений .....	19
1.3 Способы защиты стальных сооружений от коррозии .....	29
1.4. Грунт как коррозионная среда .....	31
1.5. Подземная коррозия стальных сооружений .....	37
1.6 КАТОДНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ .....	45
1.6.1 Принципиальная схема катодной защиты трубопроводов .....	45
1.6.2 Анодное заземление .....	47
1.6.3 Виды анодных заземлителей .....	47
1.6.4. Глубинные анодные заземлители .....	56
1.6.5 Заменяемые заземлители .....	58
1.6.6 Факторы, влияющие на работу анодного заземления .....	60
1.7 ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ .....	63
1.7.1 Принцип работы протекторной защиты .....	63
1.7.2 Конструкция протекторов .....	67
1.8 ЭЛЕКТРОДРЕНАЖНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ .....	73
1.8.1 Принцип работы электродренажной защиты .....	73
1.8.2 Установки электродренажной защиты .....	79
1.9 ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ .....	82
1.9.1. Назначение изоляционных покрытий .....	82
1.9.2. Конструкции изоляционных покрытий .....	82
1.9.3. Контроль качества изоляционных покрытий .....	88
Глава 2. Расчетная часть .....	91
2.1. Определение числа катодных установок .....	91
2.2. Определение максимально допустимой глубины коррозии .....	92
2.3 Определение допустимого давления для газонефтепровода имеющего коррозионное утонение .....	92
Глава 3. Финансовый менеджмент .....	94
3.1 Расчет нормативной продолжительности выполнения работ .....	94
3.2 Расчет сметной стоимости работ .....	95
3.2.1 Методика расчета .....	95
Глава 4. Социальная ответственность .....	102
4.1. Введение .....	102
Опасные производственные факторы .....	107

Экологическая безопасность .....	113
Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	115
Заключение .....	120
Список использованных источников .....	121

## 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 итоге их химической или электрохимической связи с окружающей средой (произошло от лат. *corrosion* – 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 причиняет существенный вред трубопроводному транспорту нефти и газа. Период эксплуатации объектов трубопроводного транспорта нефти и газа во многом обуславливается 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;
- 2) *увеличение надежности оборудования*, которое в итоге коррозии имеет возможность разрушиться с катастрофическими последствиями, к примеру, вследствие разгерметизации магистральных нефтегазопроводов и рез-

					Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	при их подземной прокладке в грунтах с повышенной		
Разраб.					Лит.	Лист	Листов
Проверил	Саруев А.Л.					14	123
Конс.					Введение НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2Б3А		
Н. Контр.							
Утверд.	Бурков П.В.						

ервуаров 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.

Финансовые издержки в трубопроводном транспорте нефти и газа в основании коррозии продолжают быть неприемлемо гигантскими. 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. По этой причине борьба с коррозией металлов (резервуаров, трубопроводов, иного оборудования) считается важнейшей проблемой трубопроводного транспорта, решение которой позволит сберечь материальные ресурсы (сталь, нефтепродукты) и гарантировать 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 имеют все шансы быть низкокачественными и в ходе

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

производства работ. Качество этих покрытий проверяют визуально и с помощью специальных приборов, что позволяет увеличить срок безаварийной эксплуатации объекта.

Подземные стальные сооружения защищают также с помощью катодной (протекторной) и дренажной защиты. Применение электрозащиты подземных стальных сооружений практически полностью устраняет коррозионное разрушение. При сравнительно небольших расходах (стоимость устройств электрозащиты никак не превосходит 1% стоимости защищаемого объекта) получается существенно продлить срок работы 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 в отсутствие средств катодной защиты в эксплуатацию ни как не приступают. 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».

Существенные потери металла от коррозии помечаются 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 исследует механизм и закономерности процессов взаимодействия металлов с окружающей средой, разрабатывает методы защиты металлов от коррозии в разных условиях.

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



Исключительный смысл для обоснования электрохимического механизма коррозии имели работы выдающегося ученого М. Фарадея, установившего закон электролиза. М. Фарадей внес важное предложение с целью последующего формирования электрохимической теории коррозии – соотношение между анодно – растворяющегося металла и количеством протекающего электричества, а ещё выразил мнение о пленочном механизме пассивности железа и электрохимической сущности процессов растворения металлов. В 1830 году швейцарский физико – химик О. де ля Рив выразил мнения об электрохимическом характере коррозии (он разъяснил растворение цинка в кислоте влиянием микрогальванических элементов). Русский ученый Н. Н. Бекетов (1865 год) изучил проявление 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.

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

## Глава 1. Литературный обзор

### 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 предполагает собой окисление железа в электропроводных средах. 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 выделяют следующие типы:

- 1) *почвенная коррозия* – разрушение подземных металлических сооружений под влиянием 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, спровоцированное блуждающими токами.
- 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

					Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	при их подземной прокладке в грунтах с повышенной			
Разраб.		Садьков И.Е.			Литературный обзор	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Саруев А.Л.					18	123
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ,		
Н. Контр.						группа 2Б3А		
Утверд.		Бурков П.В.						

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, проходящий под воздействием бактерий, в следствии жизнедеятельности которых образуются вещества, ускоряющие коррозионные процессы (например, ускорение коррозии железа в грунтах с сульфатредуцирующими бактериями).

## 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 отличают последующие виды коррозии:

- 1) *сплошная* – разрушение стального сооружения равномерно по всей поверхности, находящейся под влиянием 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 разной скоростью на разных участках поверхности стального сооружения (коррозия подземных

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

трубопроводов). Наиболее опасными являются местные коррозионные разрушения, которые подразделяются на семь основных видов:

- 1) *пятнами* – в виде отдельных пятен, диаметр которых побольше глубины прокорродировавшего слоя металла (к примеру коррозия латуни в морской воде);
- 2) *язвенная* – в виде еденичных каверн, диаметр которых приблизительно равный их глубине (коррозия углеродистой стали в почве);
- 3) *точечная (питтинговая)* – в виде большого количества еденичных точек диаметром 0,1 – 2мм значимой глубины. 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);
- б) *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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

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).

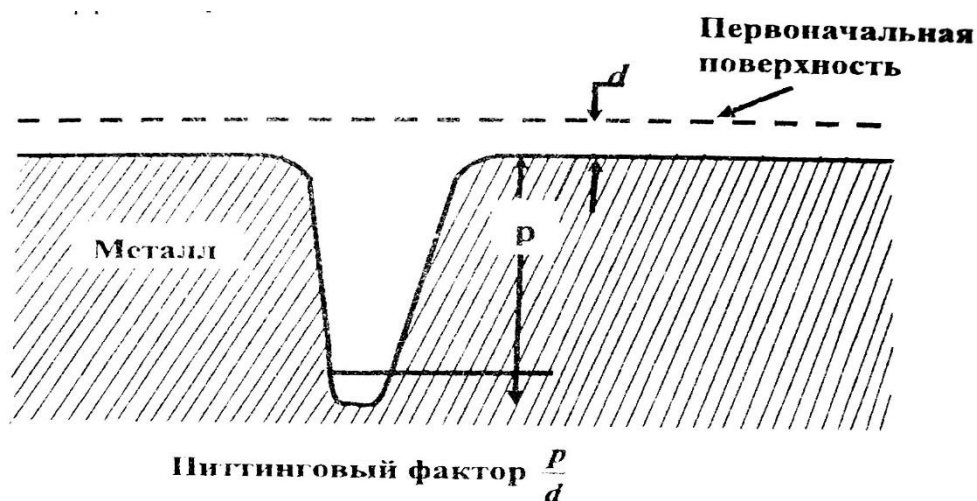


Рис. 1. Схема, поясняющая физический смысл питтингового фактора

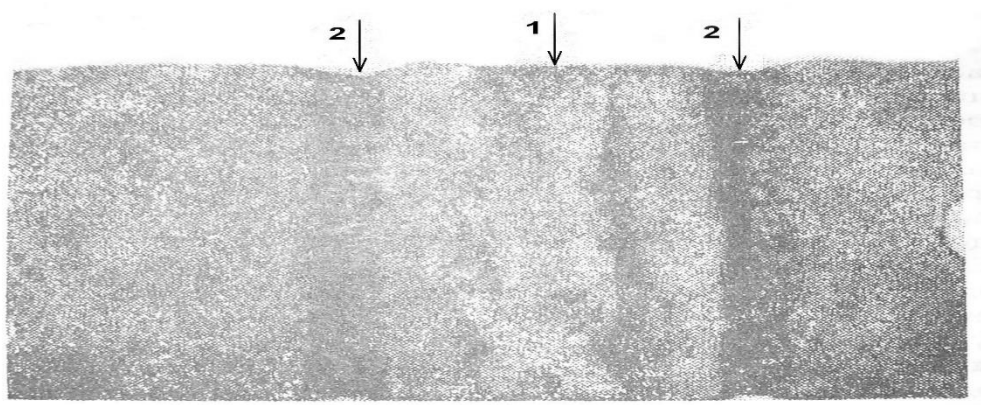
*Фреттинг* – коррозия возникает вследствие вибрационных смещений стальных контактных поверхностей друг относительно друга. Обычно коррозия

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 околосшовной зоне

Коррозионное разрушение стальной конструкции в области сварного шва, представленное на рис. 2, свидетельствует о том, что металл в околосшовной 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, контактирующий 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.

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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

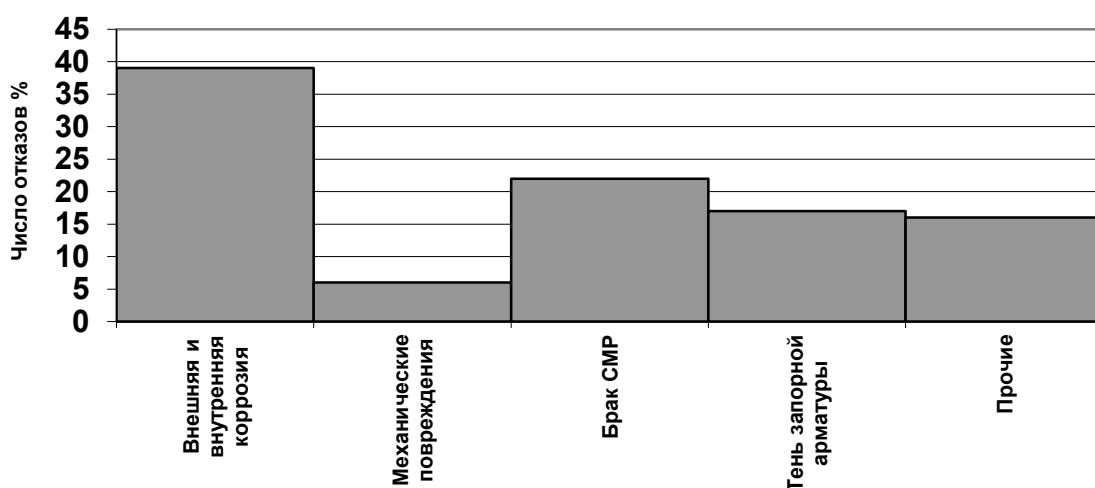
Если трубная сталь при постоянном растягивающем напряжении с сероводородосодержащих грунтах подвергается растрескиванию сразу после нагружения или спустя определенное время, это разрушение, как было указано выше, называется коррозионным растрескиванием под напряжением (КНР). В этом случае растрескивание 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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24





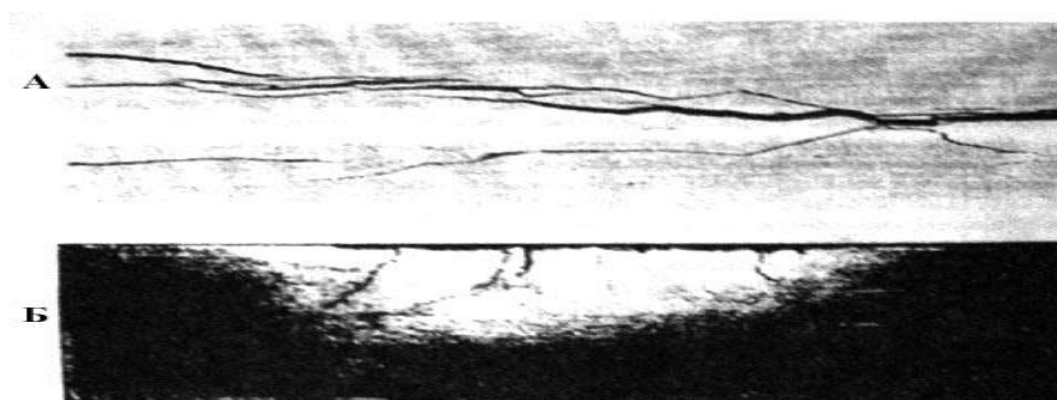
**Рис. 3.** Основные причины отказов на линейной части магистральных нефтегазопроводов

На рис. 3 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.

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.

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.



**Рис. 4.** 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 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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

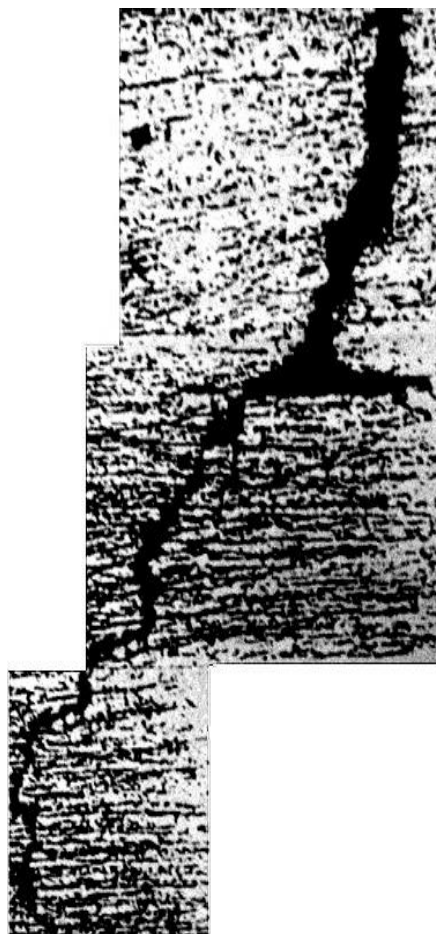
атомарном состоянии. Некоторое количество водорода за это время успевает диффундировать в металл и раствориться в нем, либо относительно равномерно, «напрягая структуру», либо неравномерно, образовав локальные скопления, так называемые блистеры в дефектах структуры.

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 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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

молекулярного водорода, вызванного электролитическим насыщением, достигает и превышает временное сопротивление трубной стали.



*Рис. 5. 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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

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.

Мероприятия по борьбе с блуждающими токами осуществляются по двум основным направлениям: предотвращение либо уменьшение возможности появления блуждающих токов на самом источнике тока и проведение специализированных работ на защищаемом подземном сооружении по отводу

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

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.

#### 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.

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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

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 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

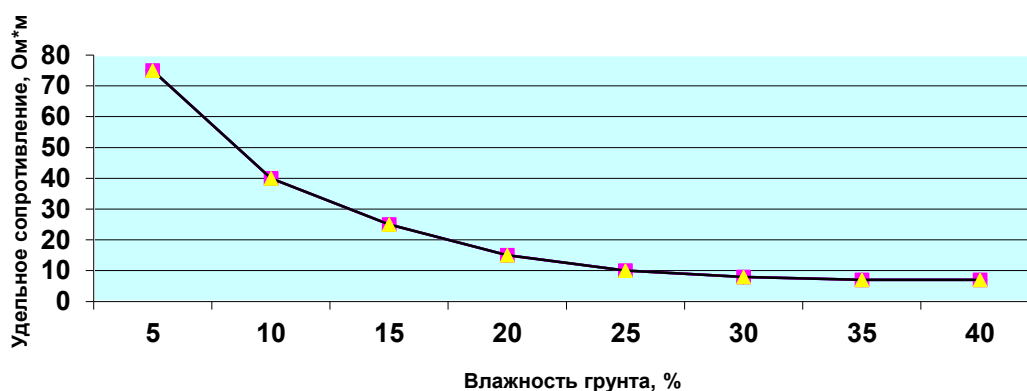
Тип грунта	Пористость n, %	Влажность W, %	Коэффициент, $K_w$	Концентрация кислорода в грунте, $10^{-4}$ , г/см <sup>3</sup>		Относительная погрешность, %
				Расчетная	Экспериментальная	
1	2	3	4	5	6	7
Песок	35	10	0,50	0,60	0,71	15
Песок	40	10	0,42	0,742	0,90	17
Песок	40	15	0,61	0,678	0,77	0,1
Глина	34,6	14,2	0,60	0,477	0,47	0,06

Под удельным гальваническим сопротивлением грунта принято понимать сопротивление протеканию гальванического тока в условном грунтовом проводнике площадью поперечного сечения 1м<sup>2</sup> 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. 6.** Зависимость удельного сопротивления песчано-глинистого грунта от влажности

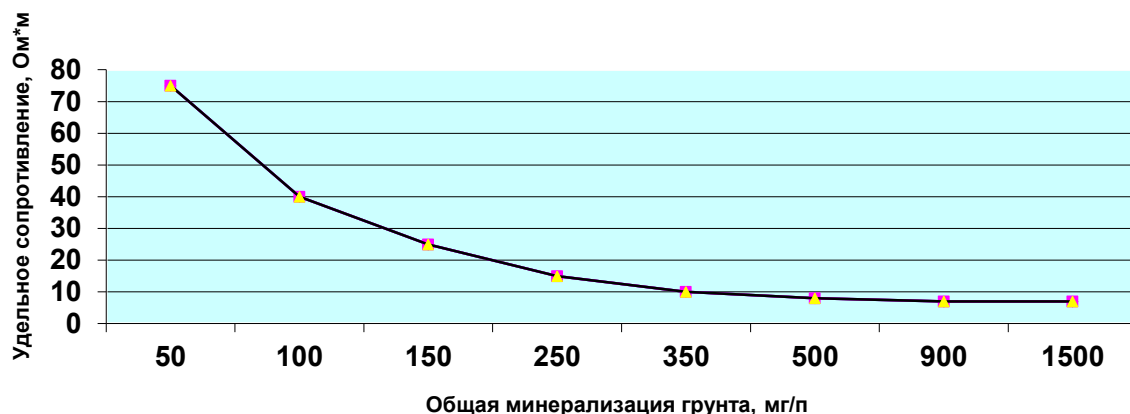
Удельное сопротивление грунта вдоль трассы магистрального нефтегазопровода изменяется в широких пределах. В зимний период, когда грунт промерзает, его удельное электрическое сопротивление резко возрастает. Промерзание верхнего слоя грунта увеличивает его сопротивление в несколько раз. Сопоставление удельного 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  $9 - 6 \text{ Ом}^* \text{ м}$ , 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  $\rho = 1 - 100 \text{ Ом}^* \text{ м}$ .



**Рис. 7.** Зависимость удельного сопротивления песчано-глинистого грунта от общей минерализации грунтового электролита

Между удельным электрическим сопротивлением грунта и опасность 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. 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°C. 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 ± 2,49
	100	8,59 ± 0,61
	120	4,63 ± 0,147

	160	4,17 ± 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...100мкм. 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 полузаглубленные резервуары, электрические бронированные кабели и другие стальные коммуникации,

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

сопровождается гидратацией образующегося аниона металла, поэтому для осуществления анодного процесса необходимо присутствие в грунте некоторого количества 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 накопление 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.

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

					Литературный обзор	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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.

Таблица 4

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.

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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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 отсутствии твердых частиц грунта плотность предельного тока кислорода в 0,5% NaCl, который применяли для задания требуемой влажности грунтов, была равна 0,175 А/м<sup>2</sup>, то при погружении в этот 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 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.);

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

- микровключений окалины, 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).

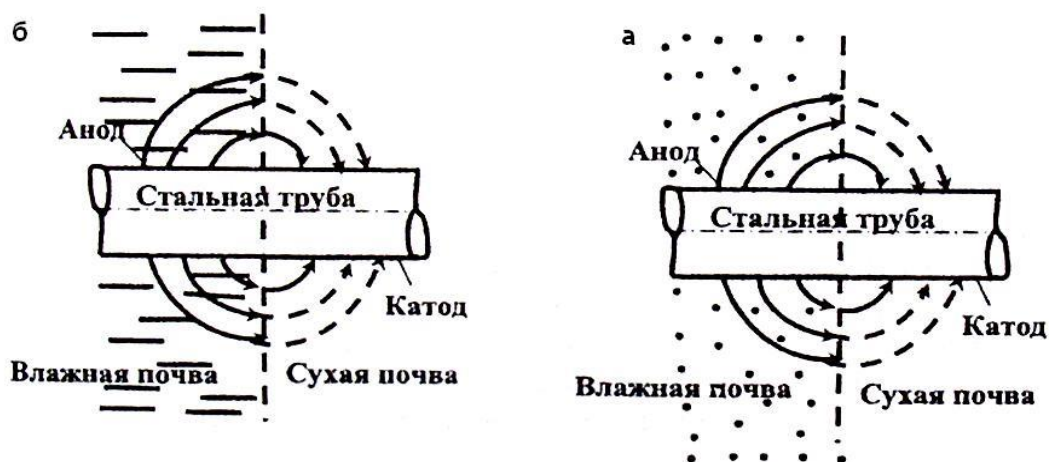


Рис. 7. Участок подземного стального трубопровода на выходе из болота (а) и участок подземного стального трубопровода в минерализованном и неминерализованном грунте (б)

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;
- 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.

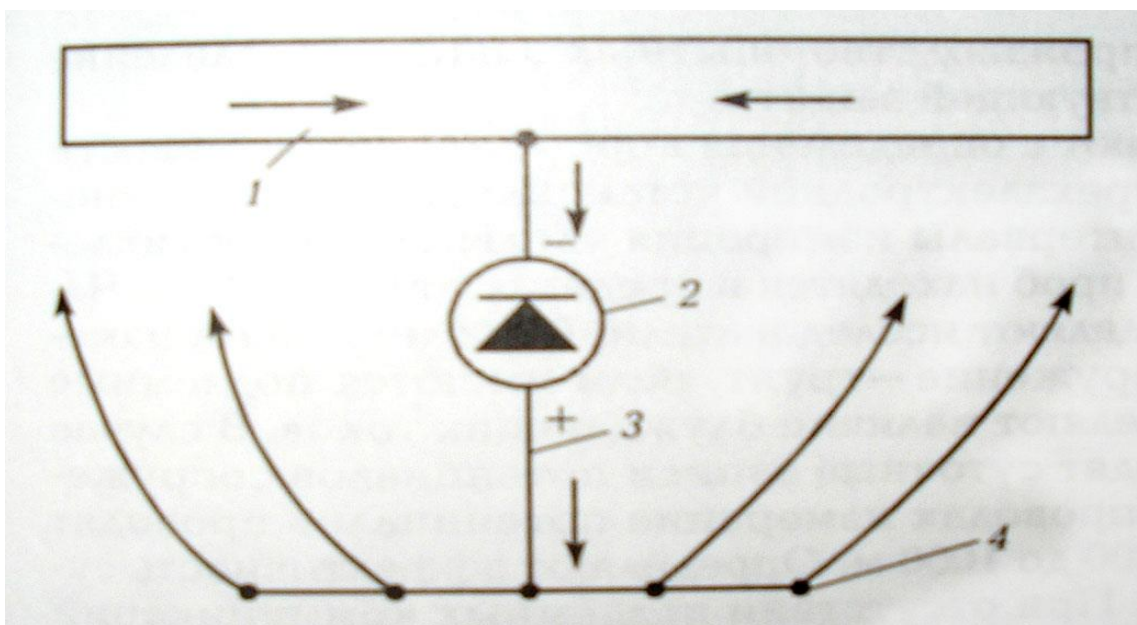
## 1.6 КАТОДНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

### 1.6.1 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 грунтовой электролит и на оголенных участках трубопровода в местах повреждения изоляции начинается процесс катодной поляризации (рис. 10).

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45



**Рис. 8.** Принципиальная схема защиты трубопроводов: 1 – трубопровод; 2 – внешний источник постоянного тока; 3 – соединительный провод; 4 – анодное заземление

Изыскания начинают с выделения коррозионной активности грунтов методом четырехэлектродной установки или 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. Потом 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.

## 1.6.2 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.

## 1.6.3 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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

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.

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 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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



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  $1 \text{ кг}/(\text{А} \cdot \text{год})$

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 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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

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  $\text{SiO}_2$ , 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.

Добавка небольшого количества серебра делает такие сплавы "малорастворимыми". Этот эффект объясняется образованием на поверхности

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

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).

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

диаметра. Анодные заземлители из этих материалов проходят промышленную апробацию. Планируют их использовать для горизонтальных и протяженных конструкций.

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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

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.

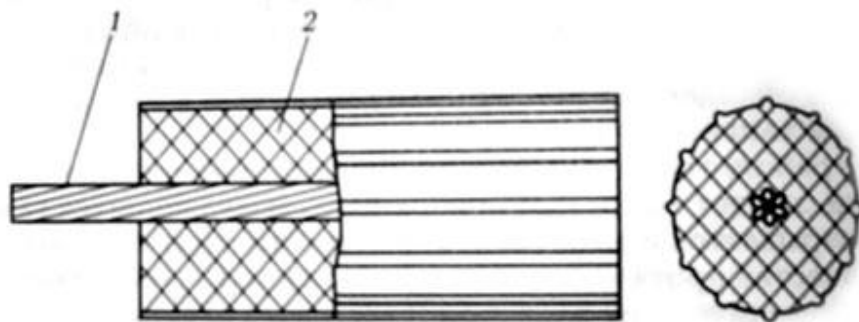
Находят применение для стальных анодов обмазки, состоящие из смеси полупроводникового окисла и стекла. Полученное покрытие обладает достаточной стойкостью в средах, содержащих ионы хлора.

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).

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54



**Рис. 9.** 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.

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 присутствием значительного количества парамагнитных центров, которые имеют все шансы осуществлять активное содействие в образовании химических связей между связующими материалами и твердым наполнителем. По сути, на сегодняшний день это

единственный в мировой практике связующий материал для углеродистой продукции. В связи с этим естественно стремление ученых изыскать легкодоступные заменители каменноугольного пека.

Нефтяной пек имеет значительными цементирующими качествами, однако существенно уступает каменноугольному. Но он менее канцерогенен, нежели каменноугольный пек.

#### 1.6.4. 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.

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 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.

### 1.6.5 Заменяемые заземлители

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

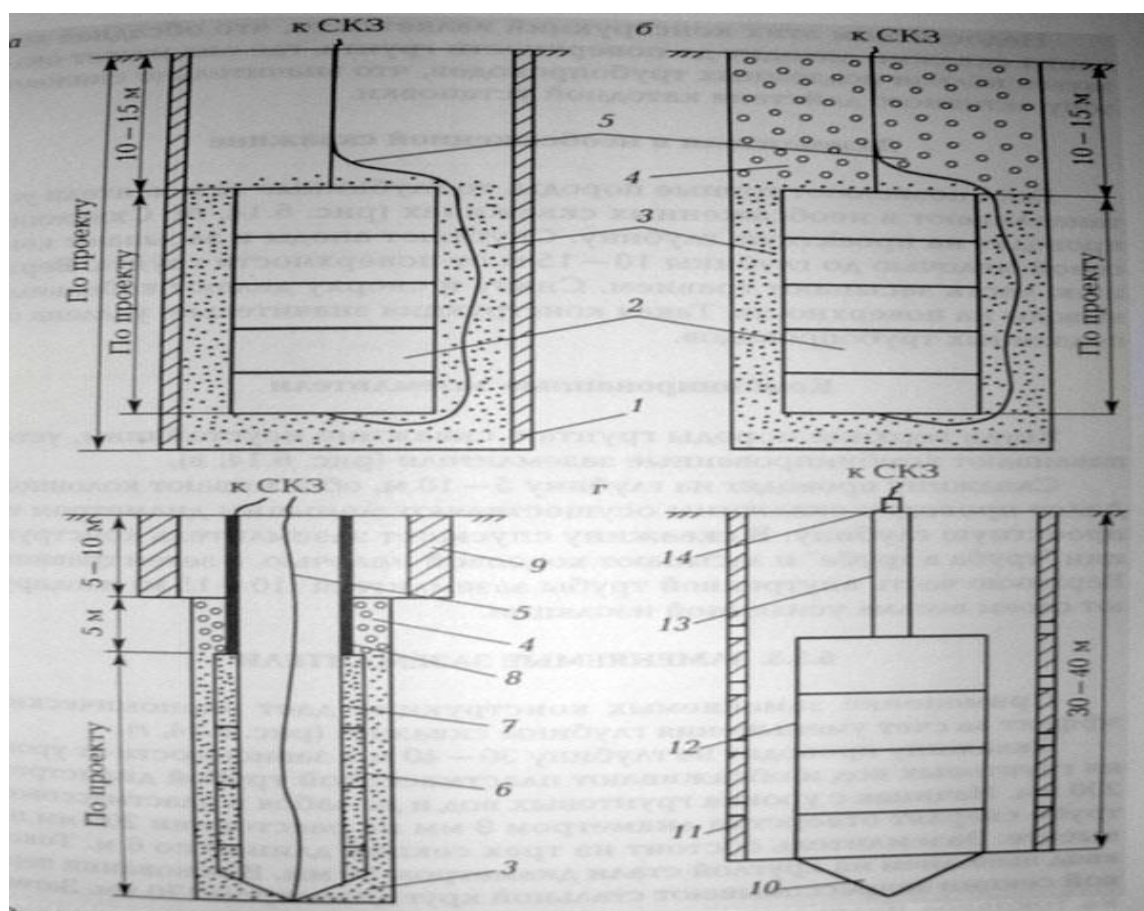
Скважину проводят на глубину 30 - 40 м в зависимости от уровня грунтовых вод и обсаживают пластмассовой трубой диаметром 200 мм. Начиная с уровня грунтовых вод и до забоя в пластмассовой трубе сверлят отверстия диаметром 8 мм на расстоянии 200 мм по высоте. Заземлитель состоит из трех секций длиной по 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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Наиболее простой способ установки поверхностных заземлителей — горизонтальный. В этом случае анодный заземлитель размещают на дне траншеи ниже глубины промерзания. Для размещения горизонтального анодного заземлителя необходимо значительная площадь, свободная от застройки, и в условиях большой глубины промерзания доводится производить большой объем земляных работ. Поэтому предложено устанавливать анодный заземлитель вертикально в пробуренную на глубину 4 м скважину. Между собой заземлители 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. 10.** 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 заранее пробуренную скважину на глубину до 100 метров. Для выполнения этих работ требуется привлекать 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.

### **1.6.6 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 высокой анодной плотности тока, протекающего продолжительное время, в следствии нагрева им грунта и дальнейшего испарения влаги вероятно осушение грунта, окружающего заземлитель. При этом сопротивление заземления резко возрастает

Вследствие осушения уменьшается электропроводность грунта вокруг заземлителя. Для того чтобы заземление было термически устойчивым,

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

заземлители обязаны иметь поверхность тем большую нежели больший ток станет протекать 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 находится в зависимости 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 никак не успевает мигрировать в пласт и вокруг анода формируется газовая оболочка. Эта оболочка повышает переходное сопротивление заземлитель - грунт, то что приводит к сокращению зоны воздействия катодной установки.

По этой причине при эксплуатации глубинных анодных заземлителей при токах катодных станций двадцать пять А и больше следует учитывать мероприятия по отводу от поверхности заземлителей образующихся газов. На аноде выделяются кислород и другие газы в зависимости от химического состава воды и грунта.

### Влияние электроосмоса

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

При протекании большого тока через заземлители способен происходить электроосмотический отгон влаги от заземлителей, который противодействует гидромеханический напор грунтовой влаги, перемещающейся 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:  $Q = UI_{ж}I/\nu\epsilon_{ж}$

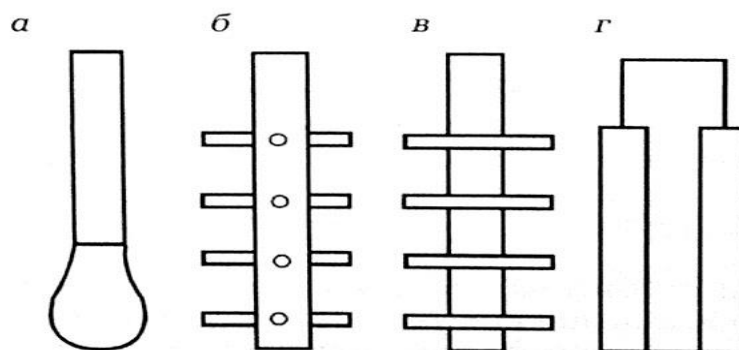
,где  $I$  - сила тока, А;  $\nu$  - вязкость жидкости, см<sup>2</sup>/с;  $\epsilon_{ж}$  - удельная электропроводность жидкости;  $I_{ж}$  - диэлектрическая постоянная жидкости;

$U$  - электрокинетический потенциал ( $U = 0.05 - 0.1В$ ).

С целью снижения воздействия электроосмоса в грунт, окружающий анод, добавляют соль либо известь.

### Влияние формы заземлителя

Наиболее удачной формой заземлителя для его равномерного разрушения является шар. В практике шаровидные анодные заземлители ни как не используют в связи с трудностью их производства и установки.



**Рис. 11.** Конструкции анодного заземлителя: а – с утолщенным низом; б – с приваренными штырями; в – с приваренными дисками; г – с приваренными полосами

б – с

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).

## 1.7 ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ

### 1.7.1 Принцип работы протекторной защиты

При прокладке магистральных трубопроводов в труднодоступных регионах зачастую отсутствуют линии электропередачи, так как их сооружение для питания установок катодной защиты связано с крупными расходами. 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, представляющийся эффективным анодом (протектором).

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

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 рекомендовано устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением вплоть до 50 Ом\*м. Таким образом как мощность одного протектора не слишком 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 данном случае, в соответствии рекомендациям ВНИИСТа, протяженные протекторы возможно устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением вплоть до пятисот Ом • м.

Для протекторов, используемых при защите стальных сооружений, возможно применять все без исключений металлы, обладающие наиболее электроотрицательный потенциал, нежели железо. Наибольшее распространение получили магний, цинк и алюминий. Физико - химические характеристики приведены в таблице ниже:

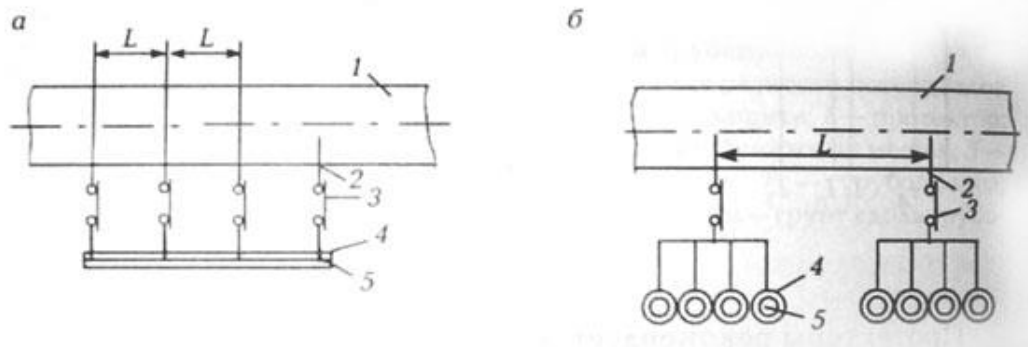
Таблица 5

<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 зачастую применяют магний, алюминий и цинк. Чистые металлы никак не приобрели практического использования для производства протекторов, таким образом магний обладает сравнительно невысокую токоотдачу, а алюминий и цинк склонны к пассивации. Внедрение добавок даёт возможность получить сплавы с наиболее отрицательными, нежели у основного металла, потенциалами, которые имеют все шансы быть активными и равномерно разрушаться. В магниевые сплавы для протекторов включают добавки алюминия, цинка и марганца. Алюминий делает лучше литейные качества сплава и увеличивает механические характеристики, однако при этом немного уменьшается потенциал. Цинк облагораживает сплав и уменьшает вредное воздействие подобных примесей, как медь и никель, разрешая увеличивать их критическое содержание в сплаве. Марганец вводят в сплав с целью осаждения примесей железа. Помимо этого, он повышает токоотдачу и делает более отрицательным потенциал протектора. Ключевые загрязняющие примеси в сплаве - железо, медь, никель, кремний. Они повышают самокоррозию протекторов и уменьшают срок службы.



**Рис. 12.** 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

Результативность деятельности протектора возрастает при установке его в специальные смеси-заполнители, именуемые активаторами. Активаторы предназначены с целью уменьшения самокоррозии протектора снижения анодной поляризуемости, снижения сопротивления растеканию тока с протектора, избежание создания плотных оксидных пленок на поверхности протектора. Использование активатора увеличивает КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ протектора, то есть 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 в таблице ниже:

Таблица 6

Массовая доля компонента, %	Состав I	Состав II

Эпсомит	30	20
Гипс	10	20
Глина	40	40
Вода	20	20

Активатор доводят вплоть до вязкой консистенции, прибавляя воду перед установкой протектора. На один протектор применяют десять - сорок килограмм активатора.

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

Глины и гипс в активаторе служат с целью избежания вымывания солей в ходе работы протекторной установки. Стабильная работа протекторной установки гарантируется при установке протекторов ниже глубины замерзания либо высыхания грунта.

### 1.7.2 Конструкция протекторов

Методика производства магниевых протекторов изобретена ВНИИСТом вместе с Березниковским титаномагниевым комбинатом и Всесоюзным институтом сплавов (ВИПС). Комплектные протекторы изготовляют с электродами из магниевых сплавов высокой чистоты Мл-16, Мл-16пч, Мл-16вч, Мл-4вч и сплава МПУ.

К электроду подсоединен изолированный соединительный проводник.

Комплектный протектор предполагает собою электрод с соединительным проводником и порошкообразным активатором, находящимся в

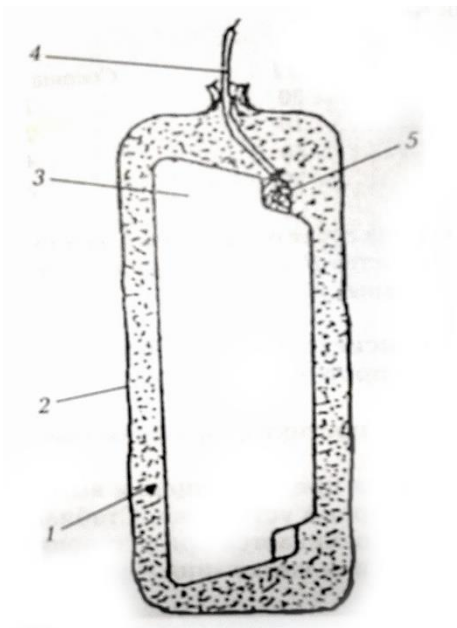
полиэтиленовом либо хлопчатобумажном мешке. При перевозке и хранении комплектный протектор располагается в мешке из крафт-бумаги (рис. 15).

Магниевый электрод типа ПМ (табл. 5) представляет собой удлинённый 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 данных сплавов равен минус 1,6 В согласно медно-сульфатному электроду сравнения (при разомкнутой цепи протекторной установки). Присутствию 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  $2200 \text{ А} \cdot \text{ч/кг}$ .

Произведенные из сплава магния Мг 95-1 протяженные протекторы, выделяющиеся небольшой массой на единицу поверхности, резко расширяют область использования протекторов, что ранее ограничивалась удельным сопротивлением грунтов вплоть до  $50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Протяженные протекторы типа ПМП 35 x 10, ПМП 20 x 10 предполагают собою полосу, намотанную на барабан.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68



**Рис. 13.** *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, возможно укладывать в одну траншею вместе с трубопроводом либо на определенном расстоянии от него.

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

Таблица 7

## Техническая характеристика магниевых протекторов

Тип протектора	Размеры протектора, мм				Масса $G_{\text{п}}$ кг
	$l_{\text{п}}$	$d_n$	$l_a$	$d_a$	
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.

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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

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;
- 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;

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72



— 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.

## **1.8 ЭЛЕКТРОДРЕНАЖНАЯ ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

### **1.8.1 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 возникают электрические токи, сила и направление которых имеют все шансы меняться во времени. Данные токи приобрели название блуждающих.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Источниками блуждающих токов служат линии электрифицированных железнодорожных путей, трамваев, метрополитена, линии передачи постоянного тока, работающие согласно системе провод-земля, установки катодной защиты подземных металлических сооружений. Устройство электроснабжения электрифицированных железнодорожных путей, трамваев и метрополитена принципиально идентично, по этой причине 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. Присутствие такого рода схемы электроснабжения тяговый ток от положительной шины тяговой подстанции по питающим фидерам (линиям) поступает через контактную сеть и токоприемник к двигателю электровоза, а далее посредством колеса и рельсы к отрицательной шине тяговой подстанции. Так как рельсы не полностью изолированы от грунта, доля тягового тока стекает с них в землю. Сила стекающего тока, какой и является блуждающим, тем более, нежели менее переходное сопротивление среди рельсами и грунтом и чем больше продольное сопротивление рельсов.

Присутствие обстоятельств, содействующих утечке тока в грунт (отсутствие стыковых соединений на рельсах, загрязненность балласта и т. д.), сила блуждающего тока в грунте способен доходить более 20 % от общей силы тягового тока, т. е. десятков ампер. Среднесуточная плотность тока утечки, превышающая  $0,0015 \text{ мА/м}^2$ , является небезопасной для подземных металлических сооружений.

Участок рельсового пути, на котором пребывает электровоз, обладает положительным потенциалом по отношению к окружающему грунту, а участок в районе подключения отсасывающего фидера - отрицательный. Таким образом

					Литературный обзор	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

на участке между двумя тяговыми подстанциями имеют все шансы быть несколько электровозов, в таком случае в зависимости от их местоположение и силы тягового тока потенциалы отдельных участков рельсового пути станут изменяться как по значению, так и по знаку.

Блуждающие токи, протекая в грунте и сталкиваясь на собственном пути подземные металлические сооружения (трубопровод, кабель и др.), переходят на них, таким образом как сопротивление металла существенно менее сопротивления грунта. Ток протекает по металлическому сооружению вплоть до тех пор, пока никак не повстречает благоприятные условия для возвращения на минусовую шину тяговой подстанции. Блуждающие токи обладают радиусом воздействия вплоть до нескольких десятков километров в сторону от токонесущих сооружений (трамвайных либо железнодорожных рельсовых путей, линий электропередачи и т. д.). В местах входа блуждающих токов в трубопровод и выхода из него в грунт проходят электрохимические реакции. В зоне входа токов совершается катодный процесс, который приводит к подщелачиванию грунта, а в некоторых случаях и к выделению водорода. В местах выхода тока в грунт возникают анодные участки, где совершается усиленное растворение металла, прямо пропорциональное силе тока. Основной величиной, определяющей интенсивность течения электрокоррозии, считается сила тока, стекающего с подземного сооружения в грунт, отнесенная к единице поверхности, т. е. плотность тока утечки. Однако практически можно 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. Но значимость потенциала показывает только на вероятность коррозионного процесса, то есть на вход или стекание тока с подземного сооружения, однако никак не даёт возможность дать оценку количеству

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

разрушаемого металла. При большом положительном потенциале, однако значительном сопротивлении изоляции плотность тока утечки не слишком велика и коррозионное разрушение слабо. В таком случае же время при малом положительном потенциале, однако при небольшом переходном сопротивлении изоляции способен возникнуть большая плотность тока утечки.

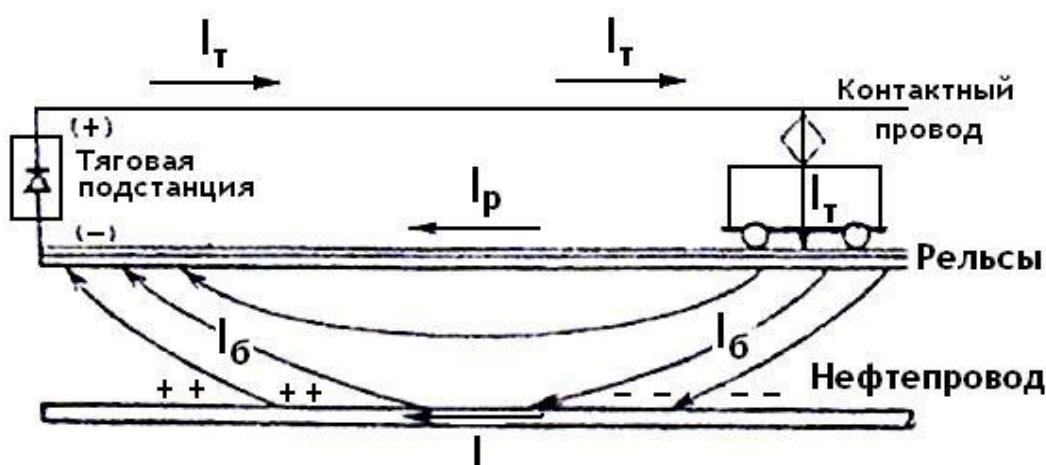


Рис. 14. Схема возникновения блуждающих токов в подземном стальном трубопроводе

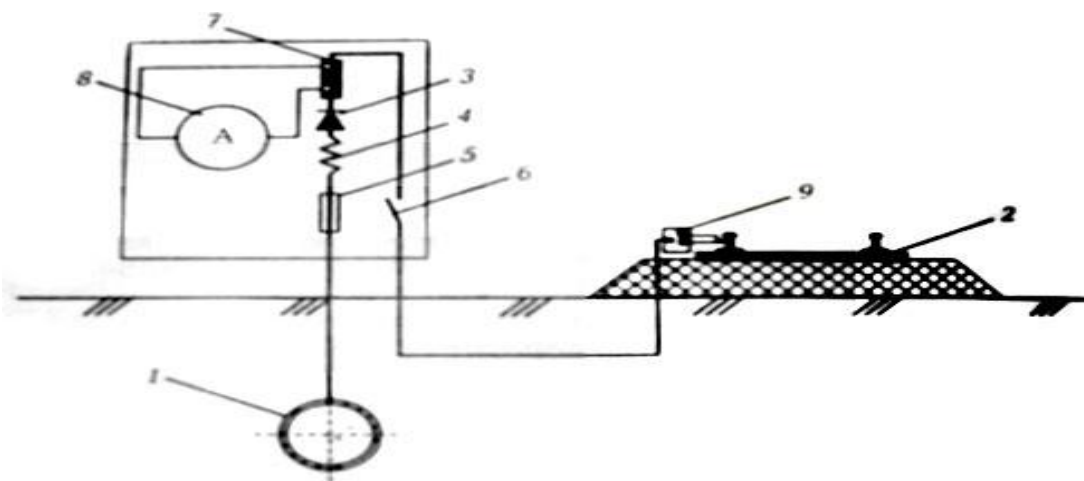
Опасными величинами являются такие, которые предоставляют сдвиг потенциала от естественного в положительную сторону, причем нежели больше данный сдвиг, тем больше возможность коррозии из за появления блуждающих токов. При обнаружении на трубопроводе блуждающих токов появляется потребность принятия защитных мер с целью предотвращения разрушений.

Для предотвращения больших утечек тока необходимо обеспечить нужное состояние железнодорожного рельсового пути: расстояние между тяговыми подстанциями не должно превышать для однопутных 35 километров и для двухпутных — 25 километров; 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.

С целью снижения действия блуждающих токов используют: 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:



**Рис. 15.** 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

Особенную внимательность необходимо уделять участкам максимального 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.

С целью снижения 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 проводников 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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

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

Шунтирующий резистор подключают к контактными элементами 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.

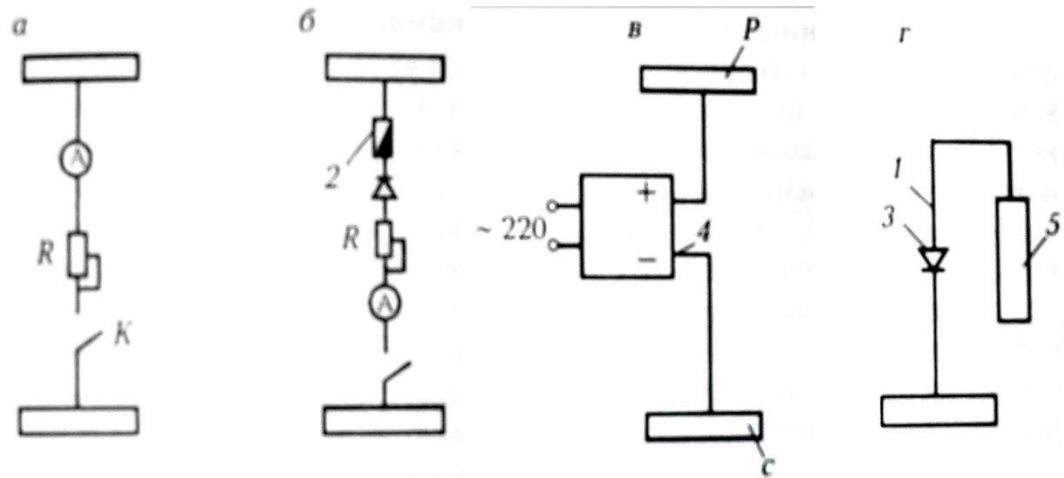
Отвод тока с трубопровода в грунт достигается установкой магниевых протекторов. В этом случае в анодной зоне создаются условия катодной защиты данного участка трубы.

### 1.8.2 Установки электродренажной защиты

Воздействие блуждающих токов возможно предотвратить либо совершенно ликвидировать использованием 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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

на четыре группы — прямые, поляризованные, усиленные электродренажные установки и поляризованные протекторные установки (рис. 18).



**Рис. 16.** 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 даёт возможность регулировать реостатом и осуществлять контроль согласно амперметру значение дренажного тока. Прямой дренаж имеет двустороннюю проводимость, используется в зонах, где потенциал сооружения по отношению к рельсам электрифицированного транспорта постоянно 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 (рис. 18, б) применяется когда потенциал защищаемого сооружения по отношению к грунту положительный или знакопеременный, а разность потенциалов сооружение - рельс больше разности потенциалов сооружение - грунт. Вследствие внедрению в схему вентильного элемента поляризованный дренаж имеет одностороннюю проводимость, то что ликвидирует попадание блуждающих токов в сооружение по дренажному кабелю при изменении режима работы тяговых подстанций.

Усиленный электродренаж (рис. 18, в) используют, когда сооружение обладает положительным или знакопеременным потенциалом по отношению к грунту, определенный воздействием источников блуждающих токов. Усиленный электродренаж представляет собою катодную установку, в которой отрицательный полюс присоединен к защищаемому сооружению, а положительный — к рельсам электрифицированного транспорта. Такой дренаж помимо отвода блуждающих токов от сооружения к рельсам гарантирует вспомогательную 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 обыкновенную концепцию протекторов, присоединяемых к защищаемому подземному сооружению через полупроводниковые вентильные элементы. Поляризованные протекторные установки более целесообразно применять с целью защиты подземных сооружений от воздействия блуждающих переменных токов. Они дают вероятность через протектор убрать с металлических конструкций анодный полупериод переменного тока и оставить на них, благодаря присутствию в цепи вентильного элемента, катодный полупериод, который гарантирует их автоматическую катодную защиту.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Однако использование протекторных установок не нашло широкого применения.

При сооружении установок дренажной защиты необходимо выполнить следующие виды строительно - 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.

## **1.9 ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ**

### **1.9.1. Назначение изоляционных покрытий**

Изоляционные покрытия металлических сооружений повышают омическое сопротивление коррозионной цепи и, значит, сокращают токи коррозии, то есть коррозионное разрушение металла. Для подземных металлических сооружений изоляционное покрытие изолирует поверхность сооружения от почвенного электролита, что предотвращает почвенную коррозию.

### **1.9.2. Конструкции изоляционных покрытий**

Абсолютно всем данным требованиям никак ни как не соответствует ни один естественный или искусственный материал, по этой причине для изоляции выбирают материалы, отвечающие ряду требований, более характерных для рассматриваемых условий сооружения и эксплуатации объекта. Для изоляции металлических сооружений обширно используют битуминозные и

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

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 необходимо использовать на трубопроводах диаметром 820 миллиметров и более независимо от 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°C;
- на участках нефтегазопроводов, прокладываемых на расстоянии менее 1000м от рек, озер, водохранилищ, а также границ населенных пунктов и промышленных предприятий.

В абсолютно всех других вариантах применяют защитные покрытия нормального типа.

Согласно ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии», для изоляции нефтегазопроводов

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

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 базе битумно-полимерной мастики и термоусаживающейся ленты;
- ленточные полимерно-битумные;
- полиуретановые и полиуретаново-эпоксидные;
- 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.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

В изоляционных покрытиях применяют битумные мастики, которые в зависимости от природы наполнителя можно подразделить на битумно-резиновые, битумно-полимерные и битумно-минеральные. Битуминозные мастики рекомендуется использовать для изоляции металлических подземных трубопроводов диаметром не больше восьмьсот двадцать миллиметров с температурой транспортируемого продукта не превышающего сорок °С.

Технические характеристики грунтовок приведены в табл. 6:

Таблица 8

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

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.

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 оберток 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).

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

В связи с этим, в настоящее время разработаны и широко применяются комбинированные изоляционные покрытия, лишенные указанных недостатков. Комбинированная конструкция изоляции предполагает собою комбинацию битуминозного и пленочного покрытий: на слой грунтовки наносится битуминозная мастика толщиной от трех до четырех миллиметров, которая мгновенно же (по нагретой до температуры 185°С) обматывается термоусаживающейся лентой. Размер нахлеста регулируется в границах 3-6 см. В период намотки полимерного покрова доля мастики выдавливается под нахлест, то что гарантирует 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.

Таблица 9

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 – использование полимерных напылений в основе разных лакокрасочных материалов. Довольно обширно применяются полимерные покрытия на основе фурановых, полиэфирных, виниловых и эпоксидных смол, полиуретанов, дивинилацетилена и других материалов.

### 1.9.3. Контроль качества изоляционных покрытий

Контроль качества изоляционных покрытий выполняется пооперационно в процессе производства работ. Качество приготовляемой 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. С этой целью не реже одного раза в сутки выполняют отбор контрольной пробы мастики с целью определения температуры размягчения согласно КиШ. Эластичность и пенетрацию определяют периодически согласно запросу клиента.

Качество очищения, грунтовки и изоляции труб, производимых в промышленных либо базовых условиях, проводит проверку и принимает служба технического надзора. В полевых условиях качество изоляционных работ, помимо сотрудников строительно-монтажной организации и службы технадзора, осуществляют контроль и получают 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 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 смогут проявиться достоинства использованного способа защиты стальной конструкции.

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

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

					Литературный обзор	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

## Глава 2. Расчетная часть

### 2.1. Определение числа катодных установок

*Задача:* определить число катодных установок, необходимых для защиты магистрального нефтепровода диаметром 1020 мм, длиной 300 км, имеющего толщину стенки 10 мм. Переходное сопротивление трубопровод – грунт равно 6000 Ом\*м<sup>2</sup>. Естественный потенциал труба – грунт равен -0,55В по МЭС.

*Решение:*

1. Определяем сопротивление изоляции на единицу длины:

$$R_{из} = \frac{R_{II}}{\pi D} = \frac{6000}{3,14 \cdot 1,02} = 1873,4 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

2. Находим продольное сопротивление единицы длины трубопровода:

$$R_T = 7,72 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м}. R_T = R_m \cdot 10^{-6} = 7,72 \cdot 10^{-6}$$

3. Рассчитываем постоянную распределения токов и потенциалов вдоль трубопровода:

$$Re = \sqrt{\frac{R_T}{R_{из}}} = \sqrt{\frac{7,72 \cdot 10^{-6}}{1873,4}} = 0,0644 \cdot 10^{-3} \text{ 1/м}.$$

4. Получим расчетные значения наложенного потенциала:

$$E_{\max} = E_{\text{защ}(\min)} - E_{\text{ест}} = -1,15 - (-0,55) = -0,6 \text{ В};$$

$$E_{\min} = E_{\text{защ}(\max)} - E_{\text{ест}} = -0,85 - (-0,55) = -0,3 \text{ В};$$

5. Определяем длину защитной зоны:

6. Находим число катодных установок:

$$n = \frac{L_{\text{нпр}}}{L} = \frac{300000}{40899} = 7,3.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Коррозионная защита магистральных газонефтепроводов при их подземной прокладке в грунтах с повышенной			
Разраб.		Садыков И.Е.			Расчетная часть	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Саруев А.Л.					91	123
Конс.								
Н. Контр.								
Утверд.		Бурков П.В.						
						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2Б3А		

Принимаем  $n = 8 \Rightarrow$  необходимо установить 8 катодных станций.

## 2.2. Определение максимально допустимой глубины коррозии

*Задача:* Определить максимально допустимую глубину коррозии для участка трубопровода III категории, изготовленного из труб 1220×12 (сталь 17Г1С,  $R_2^H = 362,6$  МПа) и находящуюся под давлением 5,4 МПа.

*Решение:*

1. По формуле определяем допускаемые кольцевые напряжения:

$$[\sigma_{\text{кв}}] = \frac{m}{0,9k_{\text{к}}} R_2^H = \frac{0,9}{0,9 \cdot 1,05} \cdot 362,6 = 345,3 \text{ МПа.}$$

1. По формуле рассчитываем максимально допустимую глубину коррозии:

$$[c] = \delta - \frac{pD_{\text{вн}}}{2([\sigma_{\text{кв}}] + p)} = 12 - \frac{5,4 \cdot 1220}{2(345,3 + 5,4)} = 2,61 \text{ мм,}$$

что составляет 21,7% толщины стенки трубы.

## 2.3 Определение допустимого давления для газонефтепровода имеющего коррозионное утонение

*Задача:* Определить допускаемое рабочее давление для участка газопровода III категории, изготовленного из труб 1020×10 (сталь 17Г1С-У), имеющего коррозионное утонение стенки  $s = 3$  мм.

*Решение:*

1. По формуле определяем допускаемые кольцевые напряжения:

					Расчеты и аналитика	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

$$[\sigma_{\text{нп}}] = \frac{m}{0,9k_n} R_2^{\text{н}} = \frac{0,9}{0,9 \cdot 1,0} \cdot 363 = 363 \text{ МПа.}$$

2. По формуле рассчитываем допускаемое рабочее давление:

$$[p] = \frac{2[\sigma_{\text{нп}}] \cdot (\delta - c)}{D_n - 2(\delta - c)} = \frac{2 \cdot 363 \cdot (10 - 3)}{1020 - 2 \cdot (10 - 3)} = 5,05 \text{ МПа.}$$

Таким образом, рабочее давление на данном участке газопровода не должно превышать 5,05 МПа.

					Расчеты и аналитика	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

## Глава 3. Финансовый менеджмент

### 3.1 Расчет нормативной продолжительности выполнения работ

Нормативную продолжительность цикла работ определяют по отдельным составляющим его производственных процессов.

Продолжительность работ формируется на основе наряда на производство работ; данных геологической, технической или технологической части проекта; норм времени на операции; данных справочников для нормирования операций, вспомогательных, подготовительно-заключительных измерительных работ и др. В таблице 10 представлены нормы времени на выполнение операций по ремонту трубопровода.

Таблица 10 – Нормы времени выполнения технологических операций

Наименование работ	Ед. измерения	Объем работ	Продолжительность работ, часов	Состав бригады
Первый этап работы				
Уточнение положения трубопровода			2	4 чел.
Снятие плодородного слоя почвы, перемещение его во временный отвал	м <sup>3</sup>	80	5	6 чел.
Разработка совмещенной траншеи	м <sup>3</sup>	18	2	6 чел.
Планировка отвала грунта со стороны движения ремонтно-строительной колонны			1	2 чел.
Сварка одиночных труб в секции на трубосварочной базе	шт.	4	4	4 чел.
Вывоз секций труб на трассу и раскладка их на бровке траншеи	шт.	3	4	6 чел.
Сварка секций труб в нитку	шт.	2	2	4 чел.
Очистка, нанесение изоляционного покрытия	м <sup>2</sup>	22	2	6 чел.
Укладка трубопровода в траншею	шт.	2	2	6 чел.
Частичная засыпка уложенного трубопровода грунтом	м <sup>3</sup>	8	0,5	6 чел.
Очистка внутренней полости трубопровода	м <sup>2</sup>	22	2	6 чел.
Испытание на прочность и герметичность			3	6 чел.

Подключение электрохимзащиты	шт.	3	1	6 чел.
Засыпка траншеи минеральным грунтом	м <sup>3</sup>	12	2	6 чел.
Резка трубопровода на части	шт.	4	3	6 чел.
Транспортирование труб к месту складирования	шт.	3	4	6 чел.
Засыпка траншеи минеральным грунтом	м <sup>3</sup>	12	2	6 чел.
Техническая рекультивация плодородного слоя почвы	м <sup>2</sup>	50	4	6 чел.
Итого продолжительность работ			45,5	

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 11 – Линейный календарный график прокладки трубопровода

Наименование операции	сутки	Дни												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
подготовительные	1													
земляные	3													
демонтажные	10													
рекультивация	1													
Итого	15													

### 3.2 Расчет сметной стоимости работ

#### 3.2.1 Методика расчета

Затраты на проведение ремонта трубопровода в соответствии с их экономическим содержанием формируются по следующим элементам:

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;

- страховые взносы;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

1. К материальным расходам относятся затраты на приобретение:

- сырья, основных и вспомогательных материалов, используемых в производственном процессе;
- запасных частей, комплектующих изделий, тары и др.;
- топлива, воды и энергии всех видов, используемых на производственные нужды и отопление;
- работ и услуг производственного характера, выполняемых сторонними организациями или индивидуальными предпринимателями, а также собственными структурными подразделениями предприятия (организации) (транспортные услуги, контроль за соблюдением технологического процесса, техобслуживание основных фондов, средств связи, компьютерной техники и др.);
- на содержание и эксплуатацию природоохранных сооружений.

Сумма материальных расходов уменьшается на стоимость возвратных отходов. Возвратные отходы оцениваются по пониженной цене, если они могут быть использованы в основном или вспомогательном производстве или по цене реализации, если они реализуются на сторону.

К материальным расходам приравниваются:

- расходы на рекультивацию земель и другие природоохранные потери при транспортировке товароматериальных ценностей в пределах норм естественной убыли;
- технологические потери при производстве и (или) транспортировке.

2. К расходам на оплату труда относятся:

- Суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96



(работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.

- Премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др.

- Начисления стимулирующего или компенсирующего характера – надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др.

- Надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах крайнего Севера и др.

- Суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования.

3. Отчисления на социальные нужды определяются суммой единого социального налога по установленным законодательством нормам в процентах от расходов на оплату труда (30 %).

4. Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части.

5. В состав прочих затрат включаются:

- налоги, сборы, отчисления в социальные внебюджетные фонды в порядке, установленном законодательством (земельный налог, экономические платежи, плата за недра и др.);

- платежи по обязательному и добровольному страхованию имущества, учитываемого в составе ОПФ;

- расходы по обслуживанию объектов жилищной и коммунальной сферы (жилой фонд, общежития, детские сады и лагеря, базы отдыха и др.);

- расходы по маркетингу (изучение рынков сбыта продукции, реклама, участие в выставках и т.п.);

- оплата услуг связи, банков, юридических и аудиторских фирм, сторожевой и пожарной охраны, авиационных услуг и др.;

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

- плата за аренду помещений (площадей) и основных производственных фондов (лизинг);
- уплата процентов за банковский кредит;
- затраты на гарантийный ремонт и обслуживание;
- командировочные расходы;
- расходы по подготовке и переподготовке кадров и др.

Далее определим затраты на оплату труда в период ремонта трубопровода с учетом премии и районного коэффициента, расчет заработной платы представлен в таблице 12

Таблица 12 – Расчет заработной платы

Должность	Количество	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Заработная плата с учетом надбавок, тыс. руб.
Машинист трубоукладчика	6	6	166,6	108	140,34
Машинист экскаватора	2	6	176,1	108	49,45
Машинист бульдозера	3	6	153,4	108	64,61
Машинист сварочного агрегата	4	6	155,5	84	67,92
Электросварщик	5	6	177,7	120	138,61
Линейный трубопроводчик	6	6	124,8	120	116,81
Машинист ДЭС	1	5	122,2	84	13,34
Машинист наполнительного агрегата	2	6	155,5	84	33,96
Сварщик-газорезчик	2	6	145,6	120	45,43
Итого					670,478

Страховые взносы определяются суммой единого социального налога по установленным законодательством нормам в процентах от расходов на оплату труда (30 %). В данном случае они составляют 201,143 тыс. руб.

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 13

Таблица 13 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Количество о	Балансовая стоимость, тыс. руб.		Норма амортизации, %	Сумма амортизации, тыс. руб.
		одного объекта	всего		
Трубоукладчик К-594	6	1712	10272	20	821,76
Одноковшовый экскаватор ЭО-4121	2	1391	2782	20	333,84
Бульдозер ДЗ-110	3	1440,22	4320,66	20	527,12
Передвижная сварочная установка УС-43	4	185,11	740,44	10	29,62
Оборудование подогрева стыка ПС	1	559,61	559,61	10	17,35
Внутренний центратор ЦВ	1	267,5	267,5	10	8,03
Очистная машина ОМ	1	365,94	365,94	20	14,64
Итого:					1752,36

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия таблица 14 и построена диаграмма сметной стоимости работ (рисунок 17).

Таблица 14 – Смета затрат на ремонт

Состав затрат	Сумма затрат, тыс. руб.
1. Материальные затраты	1812,81
2. Затраты на оплату труда	670,478
3. Страховые взносы	201,148
4. Амортизационные отчисления	1752,36
Итого основные расходы	6920,08

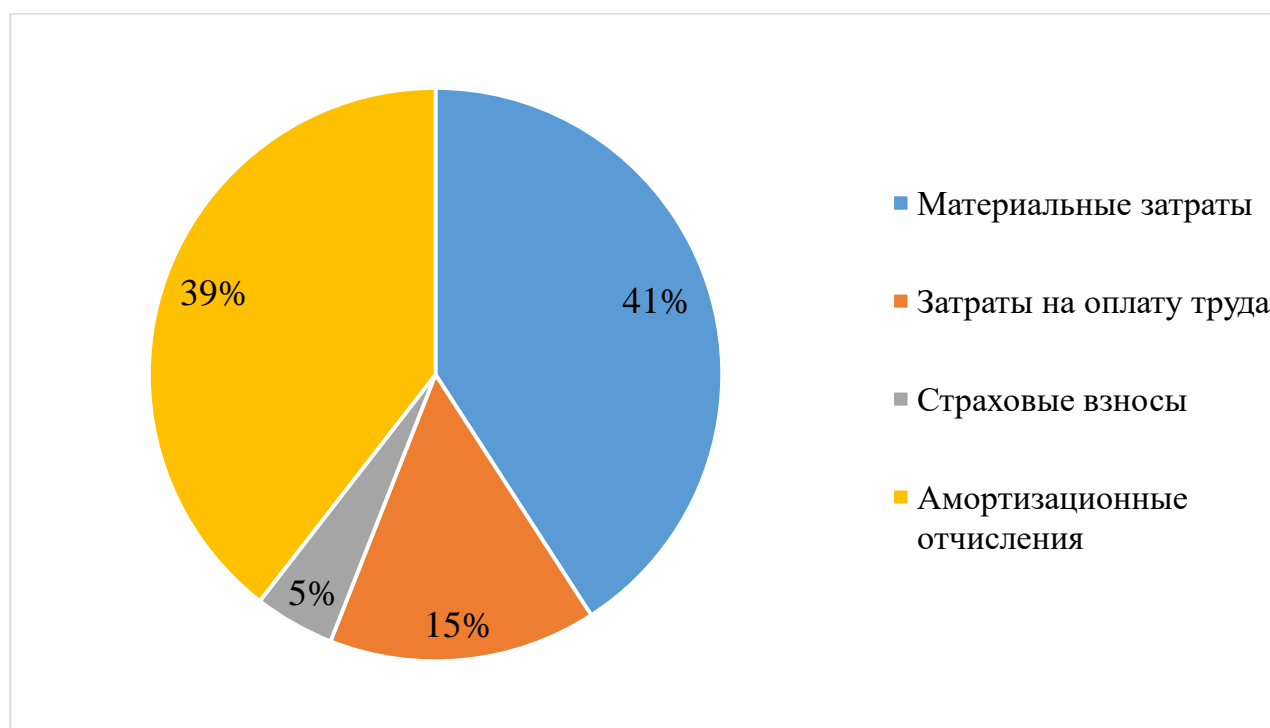


Рисунок 17 – Диаграмма сметной стоимости на выполнение прокладки нефтепровода

В данном разделе была представлена нормативная продолжительность цикла работ и линейный календарный график по ремонту трубопровода, проведен расчет затрат на материалы, амортизационные отчисления и затраты на оплату труда специалистов и построена диаграмма сметной стоимости выполнения работ. В результате вычислений получили, что на проведение мероприятия по прокладке нефтепровода потребуется 6,920 миллионов рублей.

					Финансовый менеджмент	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

## Глава 4. Социальная ответственность

### 4.1. Введение

Транспортировка нефти, газа и нефтепродуктов по трубопроводам является наиболее эффективным и безопасным способом их транспортировки на значительные расстояния. Для того, чтобы защитное покрытие эффективно выполняло свои функции, оно должно удовлетворять целому ряду требований, основными из которых являются: низкая влажностепрооницаемость, высокие механические характеристики, высокая и стабильная во времени адгезия покрытия к стали, стойкость к катодному отслаиванию, хорошие диэлектрические характеристики. Изоляционные покрытия должны выполнять свои функции в широком интервале температур строительства и эксплуатации трубопроводов, обеспечивая их защиту от коррозии на максимально возможный срок их эксплуатации.

#### **Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования**

Трудовая деятельность человека протекает в условиях определенной производственной среды, которая при несоблюдении требований может оказывать неблагоприятное влияние на работоспособность и здоровье человека.

Опасные производственные факторы – это факторы среды и трудового процесса, воздействие которых на работающего при определенных условиях приводит к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредные производственные факторы – это факторы среды и трудового процесса, воздействие которых на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

					Расчет параметров работы блочной автоматической газораспределительной станции «Урожа-10»			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Садьков И.Е.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Грязнова Е.Н.					102	123
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2Б3А		
Н. Контр.								
Утверд.		Бурков П.В.						

Опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические [1].

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при техническом обслуживании и ремонте оборудования приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Опасные и вредные факторы при выполнении ремонтных работ оборудования трубопроводного транспорта нефти [1]

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-15)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Подготовительные работы: земляные работы; погрузочно-разгрузочные работы; очистные работы.		1. Механические травмы при основных видах работ	ГОСТ 12.4.011-89 [2] ГОСТ 12.2.003-91 [3]
	1. Отклонение параметров микроклимата на открытом воздухе		СанПиН 2.2.4.548-96 [4] Р 2.2.2006-05 [5] ГОСТ 12.4.011-89 [2]
	2. Повышенный уровень шума		СНиП II-12-77 [6] ГОСТ 12.1.029-80 [7] ГОСТ 12.1.003-2014 [8]
	3. Повреждения в результате контакта с насекомыми.		ГОСТ 12.1.008-76 [26] ГОСТ 12.4.011-89 [2]
2. Основные работы: сварочно-монтажные работы; изоляционные работы.		1. Поражение электрическим током, ожоги при сварке	ГОСТ 12.1.019-79 [9] ГОСТ 12.1.038-82 [10] ГОСТ 12.4.011-89 [2]
		2. Пожаро- и	ГОСТ 12.1.004-91 [11]





с капюшоном из пыленепроницаемой ткани, каски защитные, очки защитные, наушники, защитные сапоги или ботинки, москитная сетка, перчатки.

В зимнее время: гидроизолирующие костюмы, тулупы, защитные сапоги или ботинки, перчатки, рукавицы, шапки, теплозащитные костюмы, рабочие куртки на утепляющей подкладке.

В зимнее время используется отопительный вагон на колесах для того, чтобы избежать переохлаждение рабочих.

В летнее время защита зоны проведения работ используется каркасно-тентовые сооружения.

## 2. Повышенный уровень шума

Шум является одним из наиболее распространённых неблагоприятных факторов производственной среды, воздействие которого на работающих сопровождается развитием у них преждевременного утомления, снижением производительности труда, ростом общей и профессиональной заболеваемости, а также травматизмом. Шум на производстве создают различные механизмы и машины. Шум также может возникать при работе электромагнитных устройств, при истечении воздуха и газов [6].

Источниками шума являются высокочастотные шумы различных уровней от оборудования, а также любой нежелательный звук или их совокупность. Действие шума на человека определяется влиянием на слуховой аппарат и многие другие органы и системы организма, в том числе и нервную систему.

Громкость ниже 80 дБ обычно не влияет на органы слуха. Длительное действие шума > 85 дБ в соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления [8].

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

Средства коллективной защиты разрабатываются согласно СНиП П-12-77: снижение шума в источнике (применение звукоизолирующих средств); глушители.

Средства индивидуальной защиты: ушные вкладыши; противозумный шлем; наушники [6].

### 3. Повреждения в результате контакта с насекомыми

В районах работ, где имеются кровососущие насекомые (клещи, комары, мошки и т.д.), работники должны быть оснащены соответствующими средствами защиты, а также накомарниками.

В полевых условиях наиболее опасны укусы энцефалитного клеща. Поэтому нужно уделять особое внимание профилактике энцефалита. Основное профилактическое мероприятие – противоэнцефалитные прививки, которые создают у человека устойчивый иммунитет к вирусу. Также, при проведении обслуживания и ремонта необходимо:

- иметь противоэнцефалитную одежду (противоэнцефалитный костюм, москитная сетка, перчатки);
- проводить осмотр одежды и тела 3-4 раза в день [26].

### 4. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды

Воздушная среда, содержащая вредные вещества в виде пыли и газов, оказывает непосредственное влияние на безопасность труда.

Основными опасными производственным факторами являются испарение, утечка газа, такие как метан, одорант, газоконденсат. При ремонте участка нефтепровода, имеют место случаи получения тяжелых травм. Как правило, это связано с несоблюдением правил техники безопасности рабочих при производстве работ [12].

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

Для безопасности рабочего по санитарным нормам содержание паров нефти и газов не должно превышать предельно допустимой концентрации (ПДК). Для нефти данный параметр составляет 300 мг/м<sup>3</sup>. Концентрация паров углеводородов в воздухе рабочей зоны при проведении газоопасных работ, при условии защиты органов дыхания, допускается не выше предельно-допустимой взрывобезопасной концентрации (ПДБК), для паров нефти 2100 мг/ м<sup>3</sup>. Предельно допустимая концентрация (ПДК) содержания метана (СН<sub>4</sub>) в воздухе рабочей зоны – 7000 мг/м<sup>2</sup>.

В качестве коллективного средства защиты используются герметизирующие устройства, знаки безопасности. В качестве индивидуальных средств защиты применяют респираторы и марлевые повязки [12].

### **Опасные производственные факторы**

#### **1. Механические травмы при основных видах работ**

При проведении земляных, погрузочно-разгрузочных работ возможность получения механических травм очень высока. Повреждения могут быть разной степени тяжести вплоть до летального исхода, так как работа ведется с высокогабаритной техникой. Для предотвращения повреждений необходимо соблюдать технику безопасности и соблюдать все требования к машинам, указанных в ГОСТ 12.03.033-84 ССБТ. Строительные машины. Общие требования безопасности при эксплуатации [13].

К использованию допускаются машины в работоспособном состоянии. Перечень неисправностей и предельных состояний, при котором запрещается эксплуатация машин, определяется эксплуатационной документацией.

При выборе типа машин для производства работ необходимо, чтобы техническая характеристика машины соответствовала параметрам технологического процесса и условиям работ.

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

Использование машин следует осуществлять, если температура окружающего воздуха, скорость ветра и влажность соответствуют значениям, указанным в эксплуатационной документации на машину [3].

До начала работ с использованием машин необходимо определить рабочую зону машины, границы опасной зоны, средства связи машиниста с рабочими, обслуживающими машину, и машинистами других машин.

При использовании машин в режимах, установленных эксплуатационной документацией, уровни шума, вибрации, запыленности, загазованности не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003-2014 [8], ГОСТ 12.1.012-2004 [14], ГОСТ 12.1.005-88 [12].

## 2. Поражение электрическим током

Опасность поражения электрическим током существует при работе с электрооборудованием. Наиболее частыми причинами электротравматизма на производстве являются:

- неисправное электрооборудование (провода, рубильники, двигатели);
- отсутствие или недостаточность защитного заземления;
- прикосновение к металлическим конструкциям и частям оборудования, находящимся под током вследствие соприкосновения их с оголенными проводами, а также к самим оголенным проводам;
- отсутствие индивидуальных и коллективных средств защиты [9].

Электрическим ударом называется возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В зависимости от исхода воздействия тока на организм человека электрические удары делятся на четыре степени:

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

I – судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II – судорожное сокращение мышц, потеря сознания;

III – потеря сознания, нарушение сердечной и/или дыхательной деятельности;

IV – клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения [10].

По истечении периода клинической смерти (обычно 4–5 минут) наступает биологическая смерть – прекращение биологических процессов в клетках и тканях организма и распад белковых структур. Причинами смерти человека в результате поражения электрическим током могут быть: прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок [10].

Защита от электрического тока делится на два типа: коллективная и индивидуальная.

Для защиты от поражения электрическим током применяют коллективные и индивидуальные средства.

Мероприятия по созданию безопасных условий:

- инструктаж персонала;
- аттестация оборудования;
- соблюдение правил безопасности и требований при работе с электротехникой.

Коллективные средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль, установка оградительных устройств, предупредительная сигнализация и блокировка, использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов, применение малых напряжений, защитное заземление, зануление, защитное отключение.

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

Индивидуальные средства защиты: диэлектрические перчатки, инструменты с изолированными рукоятками, диэлектрические боты, изолирующие подставки [9].

#### Ожоги при сварке

При ремонте магистральных трубопроводов применяется ручная электродуговая сварка. Электрическая дуга находится в газовом пузыре, возникающем из-за испарения и разложения воды. Для устойчивого горения дуги на электрод наносят толстый слой покрытия. При горении дуги выступающий слой покрытия образует козырек, способствующий удержанию газового пузыря вокруг дуги и устойчивому ее горению. С увеличением глубины и давления окружающей среды устойчивость дуги не нарушается, возрастает только напряжение и увеличивается ток [10].

В качестве источников питания используют однопостовые и многопостовые сварочные агрегаты, сварочные преобразователи и трансформаторы, имеющие напряжение холостого хода 70-110 В (таблица 1.4).

Поражение электрической дугой возможно в следующих случаях:

- При прикосновении человека, который не изолирован от земли, к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, которые находятся под напряжением из-за замыкания на корпусе;
- При однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

– Таблица 16 – Режим ручной сварки [10].

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
Феникс К50Р Мод	2,5-3,2	220-240

МТГ-01К ЛБ-52У		200-220, 160-220, 250-270
ОК 53.70		240-260, 200-275
ОК 74.70		160-200, 200-250

Меры безопасности при сварке:

- Электродуговая сварка происходит при очень высокой температуре, поэтому, во избежание ожогов, не прикасаться к неостывшим деталям голыми руками.
- Одежда во время работы обязательно должна быть сухой, иначе может произойти поражение электрическим током.
- Для защиты глаз используют только специальной маской с фильтрующими стеклами.
- Никогда не производить сварку рядом с местами хранения горючих веществ [2].

### 3. Пожаро- и взрывоопасность

Источниками возникновения пожара могут быть устройства электропитания, где в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов, короткие замыкания, перегрузки, а также возгорание леса связи с различными естественными природными явлениями и человеческим фактором. Источники взрыва – газовые баллоны, трубопровод под давлением [11].

Баллоны с газами следует хранить в одноэтажных складах с покрытиями легкого типа, оборудованных вентиляцией, без чердачных помещений. Стены склада необходимо выполнять из негорючих материалов; окна и двери должны открываться наружу. Высота складского помещения

должна быть не менее 3,25 м; освещение должно быть выполнено во взрывозащищенном исполнении.

Системы пожарной безопасности должны характеризоваться уровнем обеспечения пожарной безопасности людей и материальных ценностей, а также экономическими критериями эффективности этих систем для материальных ценностей, с учетом всех стадий (научная разработка, проектирование, строительство, эксплуатация) жизненного цикла объектов и выполнять одну из следующих задач:

- исключать возникновение пожара;
- обеспечивать пожарную безопасность людей;
- обеспечивать пожарную безопасность материальных ценностей;
- обеспечивать пожарную безопасность людей и материальных ценностей одновременно [11].

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности, являются: пламя и искры; повышенная температура окружающей среды; токсичные продукты горения и термического разложения; дым; пониженная концентрация кислорода.

К вторичным проявлениям опасных факторов пожара, воздействующим на людей и материальные ценности, относятся:

- осколки, части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок, конструкций;
- токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушенных аппаратов и установок;
- электрический ток, возникший в результате выноса высокого напряжения на токопроводящие части конструкций, аппаратов, агрегатов;



- опасные факторы взрыва по ГОСТ 12.1.010 [15], происшедшего вследствие пожара;
- огнетушащие вещества.

Результатам негативного воздействия пожара и взрыва на организм человека являются ожоги различной степени тяжести, повреждения и возможен летальный исход.

### **Экологическая безопасность**

Все работы по эксплуатации объектов и систем МН (МНПП) должны выполняться в соответствии с природоохранными требованиями нормативных правовых актов Российской Федерации и ее субъектов, национальных стандартов Российской Федерации и иных НД в области охраны окружающей среды [16]. Воздействие на окружающую среду магистрального трубопровода представлено в таблице 17.

Таблица 17 – Воздействие магистрального трубопровода на окружающую среду [17]

Воздействие	Источник воздействия	Последствие
Воздействие на гидросферу		Повреждается русло рек. Гибнет животный мир
Воздействие на почвенно-растительный комплекс и рельеф местности	Строительно-монтажные работы при прокладке трубопровода	Развитие эрозии, оврагов, оползней, изменение рельефа, активизация криогенных процессов, заболачивание территории, снижение биологической продуктивности почвенно-растительного комплекса, уничтожение культурных посевов, развитие безлесных ландшафтов.
Воздействие на животный мир	Загрязнение и разрушение почвенно-растительного комплекса и загрязнение воздушной среды, препятствия при миграции: надомные трубопроводы, транспорт и средства механизации.	Сокращение поголовья животных.
Воздействие на	При работе строительных машин,	Загрязнение атмосферы

атмосфера	резке и сварке металлов.	
-----------	--------------------------	--

Исходя из вышеперечисленных причин для исключения аварийных выбросов опасных веществ, приняты следующие технические решения:

- определение сроков первоочередной ликвидации дефектных участков;
- плановая замена дефектных участков нефтепроводов;
- выборочная проверка состояния наружной изоляции и плановый капитальный ремонт нефтепроводов с наружной изоляцией.

Эти мероприятия позволяют существенно сократить количество аварий на линейной части и предотвратить экологическую катастрофу.

В целях обеспечения выполнения плана мероприятий по охране окружающей среды, мероприятий по восстановлению природной среды, а также в целях соблюдения природоохранных требований в эксплуатирующей организации должен быть организован производственный экологический контроль в соответствии с Федеральным законом [17].

Мероприятия по охране окружающей среды в процессе эксплуатации магистрального нефтепровода должны быть направлены на:

- предотвращение загрязнения поверхностных и подземных вод, земельных ресурсов, предотвращение или снижение загрязнения атмосферного воздуха;
- предотвращение развития и снижение активности опасных природных процессов (эрозии, дефляции, карстообразования, активизации курумов, морозобойного растрескивания многолетнемерзлых грунтов,

наледобразования, обвалов, оползней, подтопления территории, пучения, солифлюкции, термоэрозии, развития термокарста) в охранной зоне магистрального нефтепровода и на прилегающих территориях;

- снижение негативного воздействия на водные биологические ресурсы и среду их обитания;
- исключение нарушений путей массовой миграции животных, попадания их на объекты хранения шламов и отходов, под движущийся транспорт или столкновения с проводами;
- защиту животных от воздействий электромагнитных полей, шума, вибрации;
- снижение объемов загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух и сбрасываемых в водные объекты;
- снижение объемов и токсичности отходов производства и потребления [17].

### **Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – 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 могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера.

На объектах трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, несмотря на то, что это самый экономичный и надежный вид транспортировки, время от времени происходят аварии различных масштабов [21].

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

Практика прокладки магистральных нефтепродуктопроводов показывает, что условия возникновения аварий бывают самыми различными. Статистические данные причин возникновения аварий приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Причины возникновения аварий на магистральных трубопроводах [22]

№ п/п	Причины возникновения аварий	Процент от общего числа аварий
1	Внутренние и внешние коррозионные повреждения, расслоение металла трубы, трещины усталостного характера, некачественный монтаж при строительстве	46
2	Внешние воздействия техногенного характера	31
3	Ошибочные действия обслуживающего персонала	19
4	Ошибки при проектировании	2
5	Другие причины	2

При прокладке магистральных трубопроводов могут возникнуть такие чрезвычайные ситуации как пожары, взрывы.

К опасным факторам пожара, воздействующим на людей и имущество, относятся: пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму.

К сопутствующим проявлениям опасных факторов пожара относятся: осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, строений, транспортных

средств, технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; токсичные вещества и материалы, попавшие в окружающую среду из разрушенных технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; вынос высокого напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; опасные факторы взрыва, происшедшего вследствие пожара; воздействие огнетушащих веществ [22].

До начала работ должны быть разработаны мероприятия по пожарной безопасности, которые вносятся в план производства работ.

Мероприятия по предотвращению пожара:

- работы должны производиться с соблюдением правил пожарной безопасности;
- персонал должен быть обучен безопасным методам ведения ремонтных работ на объектах магистрального трубопровода, и пройти внеочередной инструктаж по пожарной безопасности;
- проведение периодического контроля состояния воздушной среды в рабочей зоне;
- работники должны быть одеты в спецодежду, не накапливающую статическое электричество и иметь средства индивидуальной защиты;
- электрооборудование должно находиться в исправном состоянии и быть заземлено;
- рабочее место должно быть оснащено первичными средствами пожаротушения [21].

Аварией на магистральном нефтепроводе считается внезапный вылив или истечение нефти (утечки) в результате полного разрушения или повреждения

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

нефтепровода, его элементов, резервуаров, оборудования и устройств, сопровождаемые одним или несколькими из следующих событий:

- смертельным травматизмом людей;
- травмированием людей с потерей трудоспособности;
- воспламенением нефти или взрывом её паров;
- загрязнением рек, водоемов и водотоков сверх пределов, установленных стандартом на качество воды;
- утечками нефти объемом 10 м<sup>3</sup> и более.

**Действия сотрудников при пожаре:**

- Сообщить о пожаре в пожарную охрану
- Отключение при необходимости технологического оборудования, коммуникаций, задвижек.
- Тушение пожара имеющимися на трубопроводном объекте средствами пожаротушения
- Действия работников после прибытия пожарных подразделений (оказание помощи в прокладке рукавных линий, подноски или подвозки пенных средств пожаротушения, песка и т.д)

**Ликвидация пожара:** действия, направленные на окончательное прекращение горения, а также на исключение возможности его повторного возникновения.

**Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочим запрещается находиться, выполнять какие-либо работы, не входящие в круг их прямых обязанностей без разрешения в производственных помещениях и объектах повышенной опасности.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		118

Работники подрядных организаций до начала выполнения строительно-монтажных работ и работ повышенной опасности должны быть ознакомлены с положением о порядке допуска и организации безопасного производства работ сторонних организаций на действующих объектах.

Работникам подрядных организаций запрещено производство работ повышенной опасности без письменного разрешения руководителя службы, участка.

Каждый работник должен знать о вредных и опасных факторах производственной среды, веществ с которыми он может столкнуться на производстве.

При проведении работ повышенной опасности, работники и сторонних организаций должны покинуть опасную зону за границы, определяемые руководителем работ, согласно нормативных документов.

Опасные зоны должны быть обозначены знаками безопасности и надписями установленной формы.

**Опасная зона** – пространство, в котором возможно воздействие на работающего опасного и/или вредного производственного фактора.

Нахождение людей в опасных зонах категорически запрещается.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		119

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

					Ликвидация последствий аварийных разливов нефти на магистральных трубопроводах в северных районах Гомской области			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Руц С.В.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Зарубин А.Г.					120	123
Конс.						НИТПУ, ИПР, ТХНГ, группа 2Б3А		
Н. Контр.								
Утверд.		Бурков П.В.						



### Список использованных источников

1. Я.М. Колотыркин «Металл и коррозия» - М.: Metallurgy, 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. Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков, А.Г. Гумеров «Защита трубопроводов от коррозии» - ООО «Недра», 2007.
9. ГОСТ 12.0.003-15 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
10. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
11. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
12. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
13. Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		121

рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

14. СНиП II -12-77 Строительные нормы и правила. Защита от шума.
15. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.
16. ГОСТ 12.1.003-2014 Шум. Общие требования безопасности.
17. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность.
18. ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность.
19. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность.
20. ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
21. ГОСТ 12.03.033-84 ССБТ. Строительные машины. Общие требования безопасности при эксплуатации.
22. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность.
23. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
24. ГОСТ Р 55435-2013 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Эксплуатация и техническое обслуживание. Основные положения.
25. Тетельмин В.В., Язев В.А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.
26. ГОСТ 17.1.3.05-82 Охрана природы. Гидросфера.
27. ГОСТ 17.1.3.10-83 Охрана природы (ССОП). Гидросфера.
28. "Лесной кодекс Российской Федерации" от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2017).
29. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Классификация и общие требования безопасности.
30. Приказ Министра МЧС России от 08.07.2004 №329 Об

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122

утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуаций.

31. РД-13.220.00-КТН-211-12 «Правила пожарной безопасности на объектах организации систем «Транснефть».
32. ФЗ РФ №426 «О специальной оценке условий труда».
33. Постановление Правительства №188 от 29.03.2002.
34. ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования.
35. ГОСТ 12.1.030-81 Межгосударственный стандарт "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление".
36. РД 153-39.4-114-01 Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах.
37. ГОСТ 22.0.05-97 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации.
38. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные.
39. ГОСТ 12.4.011-89 Средства защиты работающих.
40. ГОСТ 12.0.002-2014 ССБТ. Термины и определения
41. ГОСТ 12.1.019-2009 Общие требования защиты.
42. ГОСТ 12.1.011-78 Смеси взрывоопасные.

					Список используемых источников	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		123