

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



Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

профиль «Сооружение и техническое обслуживание объектов нефтегазового комплекса»

Кафедра транспорта и хранения нефти и газа

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы   |
|---|
| Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода |

УДК 622.691.4.05.076

Студент

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 2БМЗГ  | Данилов Иван Евгеньевич |         |      |

Руководитель

| Должность        | ФИО                         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ТХНГ | Какушкин Юрий Александрович | к.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                      | ФИО                   | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель каф. ЭПР | Шарф Ирина Валерьевна | доцент, к.э.н.            |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность       | ФИО                      | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ЭБЖ | Крепша Нина Владимировна | доцент                    |         |      |

Консультант-лингвист

| Должность        | ФИО                    | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ИЯПР | Уткина Анна Николаевна | к.ф.н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО                              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| ТХНГ          | Рудаченко Александр Валентинович | к.т.н.                    |         |      |

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ**

| №  | Результаты обучения   |
|----|---|
| 1  | 2   |
| P1 | Применять естественнонаучные, математические» гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)  |
| P2 | Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы-в области интеллектуальной собственности  |
| P3 | Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства. |
| P4 | Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.   |
| P5 | Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов  |
| P6 | Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность.  |
| P7 | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные таны всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы   |
| P8 | Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности   |

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

Кафедра Транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Рудаченко А.В.

\_\_\_\_\_ (Подпись)

\_\_\_\_\_ (Дата)

(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

| Группа | ФИО                        |
|--------|----------------------------|
| 2БМ4А  | Данилову Ивану Евгеньевичу |

Тема работы:

Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

*Тексты и графические материалы отчетов и научно-исследовательских работ, технический отчет по результатам комплексного периодического коррозионного обследования МГ [REDACTED], технико-экономическое обоснование реконструкции установок катодной*

|  |   |
|--|---|
|  | защиты, нормативные документы, фондовая и периодическая литература, монографии, учебники.   |
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Введение</li> <li>2. Литературный обзор</li> <li>3. Объект исследования и постановка задач</li> <li>4. Решения задач и методы исследования</li> <li>5. Результаты исследования</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>7. Социальная ответственность</li> <li>8. Заключение</li> </ol>   |
| <p><b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</b></p>   | <p><b>Таблицы – 27 штук:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Значения электродных потенциалов металлов;</li> <li>– Коррозионная агрессивность грунта по отношению к стали;</li> <li>– Удельное сопротивление грунтов;</li> <li>– Климатическая характеристика районов строительства;</li> <li>– Сопротивление изоляции строящихся и реконструируемых трубопроводов;</li> <li>– Удельное электрическое сопротивление различных марок трубной стали;</li> <li>– Требования к начальной величине сопротивления растеканию тока для различных условий применения анодных заземлений;</li> <li>– Данные для расчета подповерхностного анодного заземления;</li> <li>– Характеристика анодного заземления «Менделеевец»-ММ;</li> <li>– Масса-габаритные характеристики электрода заземлителя;</li> <li>– Масса-габаритные характеристики заземлителя;</li> <li>– комплектность поставки заземлителя;</li> <li>– Основные технические характеристики электродов сравнения СМЭС;</li> <li>– Основные характеристики вспомогательных электродов;</li> <li>– Комплект поставки электродов сравнения СМЭС-1 и СМЭС-2;</li> <li>– Комплект поставки электродов сравнения со вспомогательными электродами СМЭС-2(ВЭ);</li> <li>– Комплект поставки электродов ВЭ;</li> <li>– Основные характеристики СКЗ НГК-ИПКЗ-Евро;</li> <li>– Комплект поставки СКЗ НГК-ИПКЗ-Евро;</li> <li>– Характеристика блока совместной защиты;</li> <li>– Стоимость оборудования;</li> <li>– Амортизационные отчисления для оборудования электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов;</li> <li>– Затраты на материалы;</li> <li>– Затраты на демонтаж старого и на монтаж нового оборудования;</li> <li>– Фонд оплаты труда;</li> <li>– Социальные отчисления;</li> <li>– Экономическое обоснование проекта;</li> <li>– Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении реконструкции;</li> <li>– Нормы искусственной освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях;</li> <li>– Рекомендуемые источники света при системе комбинированного освещения;</li> <li>– Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при выполнении реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода.</li> </ul> <p><b>Рисунки – 13 штук:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Переход положительно заряженного иона металла в электролит;</li> <li>– Процесс электрохимической коррозии;</li> <li>– Механизм процесса электрохимической коррозии;</li> <li>– Возникновение коррозионных пар в металле подземного трубопровода;</li> <li>– Принципиальная схема катодной защиты;</li> <li>– Схема измерения потенциалов;</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Схема подключения КИП для измерения поляризационного потенциала;</li> <li>- Анодный заземлитель «Менделеевец-ММ»;</li> <li>- Принципиальная схема протекторной защиты;</li> <li>- Конструктивное исполнение магниевого протектора ПМ-10;</li> <li>- Принципиальная схема электродренажной защиты;</li> <li>- Схема электромагнитной установки УПДУ-57;</li> <li>- Схема расположения станций катодной защиты магистрального газопровода</li> <li>- Преобразователь катодной защиты, установленный в бочке сваренной из трубы диаметром 1200 мм;</li> <li>- Анодный заземлитель;</li> <li>- Схема поверхностного анодного заземления с укладкой электродов заземлителя в траншею;</li> <li>- Конструкция электродов;</li> <li>- Контрольно-измерительный пункт ХС «Менделеевец».</li> </ul> <p><b>Графики – 3 штуки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Сопротивление грунта вдоль магистрального газопровода «Новосибирск-Кузбасс» 0-114 км;</li> <li>- Суточные замеры на УКЗ №12 (36 км);</li> <li>- Среднечасовые замеры потенциала.</li> </ul> |
|--|---|

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

(с указанием разделов)

| Раздел  | Консультант              |
|---|--------------------------|
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | Шарф Ирина Валерьевна    |
| «Социальная ответственность»                                      | Крепша Нина Владимировна |

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

|  |
|--|
|  |
|--|

|  |  |
|--|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику |  |
|--|--|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент    | Какушкин Юрий Александрович | д.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 2БМ4А  | Данилов Иван Евгеньевич |         |      |

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

Студенту:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                 |
| 2БМ4А         | Данилову Ивану Евгеньевичу |

|                            |                    |                                  |  |
|----------------------------|--------------------|----------------------------------|--|
| <b>Институт</b>            | Природных ресурсов | <b>Кафедра</b>                   | Транспорта и хранения нефти и газа   |
| <b>Уровень образования</b> | Магистр            | <b>Направление/специальность</b> | 21.04.01<br>«Нефтегазовое дело»<br>профиль<br>«Надежность и хранение газонефтепроводов и хранилищ» |

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

|  |   |
|--|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Оценка затрат на приобретение, годовое обслуживание, демонтаж устаревшего и монтаж нового оборудования средств электрохимической защиты от коррозии магистрального газопровода</i> |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>  | <i>СТО Газпром РД 1.12-096-2004</i>   |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>               | <i>Налоговый кодекс РФ<br/>ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ</i>  |

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

|  |  |
|--|--|
| 1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Расчет капитальных вложений на строительство предлагаемого объекта (станция катодной защиты);</li> <li>– расчет эксплуатационных издержек;</li> <li>– расчет экономической эффективности</li> </ul> |
|--|--|

**Перечень графического материала**

1. Расчетные формулы
2. Таблицы:
  - Стоимость оборудования;
  - Амортизационные отчисления для оборудования электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов;
  - Затраты на материалы;
  - Затраты на демонтаж старого и на монтаж нового оборудования;
  - Фонд оплаты труда;
  - Социальные отчисления;
  - Экономическое обоснование проекта;

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

**Задание выдал консультант:**

| <b>Должность</b>   | <b>ФИО</b>            | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент каф.<br>ЭПР | Шарф Ирина Валерьевна | к.э.н.                        |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|---------------|-------------------------|----------------|-------------|
| 2БМ4А         | Данилов Иван Евгеньевич |                |             |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ**  
**МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ОТ КОРРОЗИИ»**

Студенту:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              |
| 2БМ4А         | Данилов Иван Евгеньевич |

|                     |                    |                           |  |
|---------------------|--------------------|---------------------------|--|
| Институт            | Природных ресурсов | Кафедра                   | Геологии и разработки нефтяных месторождений                                   |
| Уровень образования | Магистр            | Направление/специальность | 21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ» |

|  |   |
|--|---|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>   |   |
| <b>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона)</b>   | <p>Рабочим местом является магистральный газопровод высокого давления [REDACTED] ООО " [REDACTED] [REDACTED] магистрального газопровода [REDACTED]</p> <p>Время работ по реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода составляет шесть месяцев. Режим работы средств электрохимической защиты круглогодичный.</p>  |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>  |   |
| <p><i>1. Производственная безопасность</i></p> <p><i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</i></p> | <p><i>Работа непосредственно связана с дополнительным воздействием целой группы вредных факторов, что существенно снижает производительность труда.</i></p> <p><i>К таким факторам можно отнести:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</i></li> <li><i>2. Отклонение параметров климата;</i></li> <li><i>3. Повреждения в результате контакта с насекомыми.</i></li> </ol> |



|  |   |
|--|---|
| <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p> | <p>Также во время работ могут возникнуть опасные ситуации для обслуживающего персонала, к ним относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрический ток;</li> <li>2. Статическое электричество;</li> <li>3. Пожаро-взрывоопасность.</li> </ol>   |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p>  | <p>При реконструкции электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии будет оказываться негативное воздействие, в основном, на состояние земельных и лесных ресурсов. Нарушения, производимые в процессе строительства, оказывают негативные воздействия на состояние природных ландшафтов, а именно:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нарушения сложившихся форм естественного рельефа в результате выполнения различного рода земляных работ, таких как рытье траншей, котлованов, отсыпка насыпей;</li> <li>- ухудшение физико-механических и химико-биологических свойств почвенного слоя;</li> <li>- нарушения защитных и регулирующих функций лесного массива при проведении работ по расчистке территории от лесорастительности.</li> </ul> |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>   | <p>В районе деятельности возможно возникновение следующих видов чрезвычайных ситуаций:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- техногенного характера – пожар (взрыв);</li> </ul> <p>Пожарная и взрывная безопасность.</p>   |
| <p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</p>                               | <p>Для эффективности работы в [REDACTED] внедрены: Единая система управления нормированием труда (ЕСУНТ) и Единая система управления охраной труда (ЕСУОТ).</p>   |

|   |  |
|---|--|
| <p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                     | <b>Ученая степень,<br/>звание</b>             | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|------------------|--------------------------------|---|----------------|-------------|
| Доцент каф. ЭБЖ  | Крепша<br>Владимировна<br>Нина | Кандидат геолого-<br>минералогических<br>наук |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|---------------|-------------------------|----------------|-------------|
| 2БМ4А         | Данилов Иван Евгеньевич |                |             |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120 с., 13 рис., 27 табл., 39 источников, 1 прил.

Ключевые слова: коррозия, электрохимическая защита, реконструкция, станция катодной защиты, анодный заземлитель, комплекс модульного оборудования

Объектом исследования являются участок магистрального газопровода [REDACTED] и средства электрохимической защиты от коррозии

Цель работы – реконструкция средств электрохимической защиты участка магистрального газопровода [REDACTED]

В процессе исследования проводились анализ технического отчета по результатам комплексного электрометрического обследования МГ [REDACTED] расчет параметров средств электрохимической защиты, подбор оборудования согласно расчетам, отвечающим современным требованиям, анализ экономической эффективности реконструкции средств электрохимической защиты от коррозии, анализ опасных и вредных производственных факторов, анализ возможных воздействий на окружающую среду.

В результате исследования определен оптимальный метод проведения реконструкции средств ЭХЗ, произведен выбор материалов и определена технология производства работ по реконструкции средств ЭХЗ, предложены мероприятия по снижению опасных и вредных производственных факторов, мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

## Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

**МСЭ** - неполяризуемый насыщенный медно-сульфатный электрод сравнения

$\rho$  - удельное электрическое сопротивление грунта, Ом\*м

**ЭХЗ** - электрохимическая защита

**МГ** - магистральный газопровод

**МН** - магистральный нефтепровод

**ПТЭ МГ** - правила технической эксплуатации МГ

**УКЗ** - установка катодной защиты

**УДЗ** - установка дренажной защиты

**ЛЭП** - линия электропередачи

**КЛ** - кабельная линия

**КИП** - контрольно-измерительный пункт

**ЛЭС** - линейно-эксплуатационная служба

**СКЗ** - станция катодной защиты

**СДЗ** - станция дренажной защиты

**БДРМ** - блок диодно-резисторный

**БСЗ** - блок совместной защиты

**КЗПП** - камера запуска и приема поршня

**УК** - указатель километровый

**А.З.** - анодное заземление

**З.З.** - защитное заземление

**т.д.** - точка дренажа УКЗ

**н/д** - нет данных

**ПКЗ** - противокоррозионная защита

**ВКО** - высокая коррозионная опасность

**ПКО** - повышенная коррозионная опасность

**УКО** - умеренная коррозионная опасность

**ВТД** - внутритрубная диагностика

**НК** - неразрушающий контроль

**ТО и Р** - техническое обслуживание и ремонт

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 15 |
| Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....  | 18 |
| 1.1. Виды коррозионных процессов.....   | 20 |
| 1.2. Механизм возникновения электрохимической коррозии.....   | 21 |
| 1.3. Категории коррозионно-опасных участков .....   | 25 |
| 1.4. Факторы, влияющие на скорость коррозии .....   | 27 |
| 1.5. Коррозия на подземном газопроводе .....  | 29 |
| 1.5.1. Виды коррозии подземного газопровода .....   | 29 |
| 1.6. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ .....   | 30 |
| 1.6.1. Пассивная защита. Основные требования.....   | 31 |
| 1.6.2. АКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА.....   | 32 |
| 1.6.2.1. Катодная защита.....   | 33 |
| 1.6.2.2. Протекторная защита.....   | 38 |
| 1.6.2.3. Защита от блуждающих токов .....   | 40 |
| 1.7. Вывод к главе 1.....   | 42 |
| ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....  | 44 |
| 2.1. Краткая характеристика существующего объекта .....   | 44 |
| 2.2. Физико-географические и инженерно-геологические характеристики .....   | 46 |
| 2.3. Характеристики удельного электрического сопротивления грунта.....  | 47 |
| 2.4. Климатические характеристики районов .....   | 49 |
| 2.5. Методы исследования .....  | 50 |
| 2.6. Выводы к главе 2. ....   | 50 |
| Глава 5. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ<br>ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ<br>РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ..... | 52 |
| 5.1. Расчет затрат на реализацию проекта.....   | 54 |
| 5.1.1. Расчет капитальных затрат .....  | 54 |
| 5.1.2. Расчет эксплуатационных издержек .....   | 61 |
| 5.2. Расчет экономической эффективности.....  | 63 |
| 5.3. Вывод к главе 5 .....  | 64 |
| Глава 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ<br>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ОТ<br>КОРРОЗИИ .....                         | 65 |
| 6.1. Профессиональная социальная безопасность.....  | 65 |
| 6.1.1. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их<br>устранению.....  | 67 |

|   |    |
|---|----|
| 6.1.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению..... | 72 |
| 6.2. Экологическая безопасность .....   | 75 |
| 6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....  | 77 |
| 6.4. Законодательное регулирование проектных решений .....                                      | 78 |
| 6.5. Выводы к главе 6 .....   | 80 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 81 |
| Приложение А.....   | 86 |

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсивный рост трубопроводного транспорта нефти и газа в России приводит к необходимости развития и совершенствования методов и средств защиты металлических подземных трубопроводов от коррозии. Мероприятия по защите от коррозии осуществляются в масштабе всей страны на основе государственных стандартов, строительных норм и правил, ведомственных инструкций.

Нанесение изоляционных покрытий и сооружение средств электрохимической защиты на промысловых и магистральных трубопроводах являются обязательными. Они осуществляются при строительстве трубопроводов по типовым проектам, с учетом почвенно-климатических и коррозионных условий трассы, технологического режима работы трубопровода. При эксплуатации трубопровода производят ремонт изоляционного покрытия, усиление, реконструкцию и ремонт средств электрохимической защиты.

Эффективность использования оборудования и материалов электрохимической защиты – важная задача газодобывающих и газотранспортных предприятий.

Для обеспечения надежной, долговременной и безаварийной эксплуатации трубопроводов невозможно без своевременного правильного использования всего комплекса средств противокоррозионной защиты. Однако, для успешной борьбы с коррозией, наряду с созданием соответствующего комплекса защитных мер, необходим периодический контроль функционирования защитных средств, что невозможно без телемеханизации ЭХЗ. Согласно ГОСТ 51164-98 п. 5.2 [21] перерыв в действии каждой установки систем электрохимической защиты допускается

|                  |             |                 |                |             |  |                                      |             |               |
|------------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--|--------------------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                 |                |             | <i>Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода</i> |                                      |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |  |                                      |             |               |
| <i>Разраб.</i>   |             | Данилов И.Е.    |                |             | <i>Введение</i>  | <i>Лит.</i>                          | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Руковод.</i>  |             | Какушкин Ю.А.   |                |             |  |                                      | 15          | 120           |
| <i>Консульт.</i> |             |                 |                |             |  | <b>НИ ТПУ ИПР<br/>ТХНГ гр. 2БМ4А</b> |             |               |
| <i>Зав. Каф.</i> |             | Рудаченко А.В.  |                |             |  |                                      |             |               |

при проведении регламентных и ремонтных работ не более одного раза в квартал (до 80 ч), при проведении опытных или исследовательских работ допускается отключение электрохимической защиты на суммарный срок не более 10 суток в год, но за частую перерывы в работе гораздо больше, т.к. согласно этого же ГОСТ п. 6.4.6 проверку работы установок электрохимической защиты следует осуществлять с периодичностью два раза в месяц на установках электрохимической защиты, не обеспеченных дистанционным контролем и поэтому простои могут достигать 10 и более суток в месяц.

Надежность защиты газопроводов от коррозии обеспечивается за счет внедрения новых технических средств (установки более совершенных преобразователей катодной защиты, имеющих выход на линейную телемеханику, более современных малорастворимых анодных заземлителей), обеспечением резервирования катодных станций за счет строительства вдольтрассовых ВЛ-10 кВ.

Цель работы. Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода [REDACTED].

В итоге за счет внедрения оперативного диспетчерского контроля, состояния средств ЭХЗ с использованием программно-технических средств системы линейной телемеханики планируется повысить надежность и аварийно-безопасную эксплуатацию магистрального газопровода.

В соответствии с целью работы в выпускной квалификационной работе поставлены следующие задачи:

- представить характеристику объекта реконструкции, дать описание трассы магистрального газопровода и средств электрохимической защиты;
- провести анализ результатов комплексного электрометрического обследования магистрального газопровода предыдущих лет;
- выполнить расчет параметров электрохимической защиты МГ;

|      |      |          |         |      |          |      |
|------|------|----------|---------|------|----------|------|
|      |      |          |         |      | Введение | Лист |
|      |      |          |         |      |          | 16   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |          |      |



- по результатам расчетов предоставить решения по выбору оборудования;

Методы исследования. Поставленные задачи решаются аналитическими и численными методами согласно нормативно-техническим документам.

|      |      |          |         |      |          |      |
|------|------|----------|---------|------|----------|------|
|      |      |          |         |      | Введение | Лист |
|      |      |          |         |      |          | 17   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |          |      |

## Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В отечественной и зарубежной литературе большое внимание уделяется проблемам в эксплуатации подземных металлических сооружений, связанных с процессом электрохимической коррозии. В ходе литературного обзора были изучены труды специалистов, работы, которых представлены ниже.

Изучению процесса коррозии посвящены труды В.Н.Ткаченко [12]. В его работах наиболее полно представлены процессы электрохимической коррозии и защиты, даны рекомендации по методам коррозионных изысканий. В работе автор подчеркивает, что процесс коррозии по своей природе не обратим, но данный вид разрушения металла сооружения можно замедлить путем применения средств электрохимической защиты.

В настоящее время особой популярностью пользуется учебник для профтехобразования Е.А. Никитенко и Я.М. Эдельмана [9]. В учебнике приведены основные сведения о магистральных газопроводах, даны основы материаловедения электрохимической защиты, электротехники и промышленной электроники в объеме, соответствующем кругу обязанностей монтера по защите трубопроводов. Рассмотрены вопросы коррозии газопроводов и методы борьбы с ней. Представлены методы проведения электрических измерений, описаны измерительные приборы. Большое внимание было уделено устройству, монтажу, эксплуатации и ремонту сооружений электрохимической защиты, а также вопросам техники безопасности.

Также не безынтересна книга Д.Л. Рахманкулова [10]. Она посвящена расчетам систем катодной, протекторной и электродренажной защиты от

|           |      |                |         |      |  |                |      |        |
|-----------|------|----------------|---------|------|--|----------------|------|--------|
|           |      |                |         |      | Развитие статистического подхода к обработке данных мониторинга свойств газового конденсата на установке комплексной подготовки газа ОАО «Сахатранснефтегаз» |                |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум.       | Подпись | Дата |  |                |      |        |
| Разраб.   |      | Данилов И.Е.   |         |      | Глава 1. Литературный обзор  | Лит.           | Лист | Листов |
| Руковод.  |      | Какушкин Ю.А.  |         |      |  |                | 18   | 120    |
| Консульт. |      |                |         |      |  | НИ ТПУ ИПР     |      |        |
| Зав. Каф. |      | Рудаченко А.В. |         |      |  | ТХНГ гр. 2БМ4А |      |        |



коррозии, которые применяются в промышленности для повышения надежности работы трубопроводного транспорта.

Была проанализирована книга доктора технических наук, профессора Томского политехнического университета В.И. Хижнякова [13]. В его трудах большое внимание уделяется проблемам в эксплуатации подземных трубопроводов, связанных с процессом коррозии.

Проанализировав материалы зарубежной литературы, посвященной разрушению поверхности металла в результате электрохимической коррозии, хочется отметить автора Volkan Cices [1] и Zaki Ahmad [2]. В данных работах проводится анализ катодной защиты подземного металлического сооружения от коррозии. Сравнительный анализ методов электрохимической защиты от процессов коррозии.

Итак, коррозия металла – это физико-химический процесс вызывающий разрушение (растворение) металла или изменение его свойств в результате химического или электрохимического воздействия окружающей среды. При эксплуатации магистральных газопроводов все сооружения, которые находятся на линейной части, на площадке технологических трубопроводов, а также резервуары подвергаются воздействию внешних и внутренних факторов окружающей среды коррозионные процессы, происходящие в металле, влекут за собой потери металла, и значительные экономические потери. Именно коррозия становится причиной большинства аварийных остановок, ремонтов, связанных с заменой дефектных участков, врезкой катушек [12].

### 1.1. ВИДЫ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

По механизму протекания коррозии различают два основных вида коррозии: химическую и электрохимическую. Химическая коррозия возникает в результате химической реакции металлов с не электролитами в зоне их непосредственного контакта.

Электрохимическая коррозия возникает на поверхности металла в результате его окисления в коррозионной среде – электролите [9].

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 20   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

Электролитами могут являться: грунтовая и морская вода, вода рек, озер и болот, растворы кислот, щелочей, солей. Основной особенностью данного вида коррозии является то, что этот процесс сопровождается появлением электрического тока. Этот вид коррозии в эксплуатации подземных газопроводов наиболее распространен ему подвержены наружные поверхности газопроводов и резервуаров, находящиеся под воздействием атмосферных и почвенных электролитов.

Электрохимическая коррозия подразделяется на следующие виды [9]:

1. Коррозия в электролитах – коррозия металлов в жидких средах, проводящих электрический ток;
2. Почвенная коррозия – коррозия подземных металлических сооружений под воздействием почвенных электролитов;
3. Электрокоррозия – коррозия металлических сооружений под воздействием блуждающих токов;
4. Атмосферная коррозия – коррозия металлов в атмосфере воздуха или другого газа, содержащего пары воды;
5. Биокоррозия – коррозия, вызванная жизнедеятельностью микроорганизмов, вырабатывающих вещества ускоряющие коррозионные процессы;
6. Контактная коррозия – коррозия на границе контакта двух различающихся по своим свойствам металлов имеющих разную коррозионную стойкость в присутствии электролита.

## 1.2. Механизм возникновения электрохимической коррозии

Известно, что разные металлы в различной степени подвержены коррозии. Для того, чтобы понять какие из них являются более или менее коррозионно стойкими рассмотрим механизм возникновения электрохимической коррозии. Как видно из рисунка для протекания этого физико-химического процесса прежде всего необходим контакт металла с

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 21   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

электролитом. В качестве электролита могут выступать вода, растворы кислот, солей, щелочей, водяные пары в составе воздушной смеси.

Положительно заряженные кристаллической решетки ионы металла постоянно контактируют с электролитом, переходят в него оставляя отрицательные заряды и возвращаются обратно [12]. Если количество перешедших в раствор ионов совпадает с количеством вернувшихся, то на металле устанавливается динамическое равновесие, при этом коррозия в металле не происходит (рисунок 1).

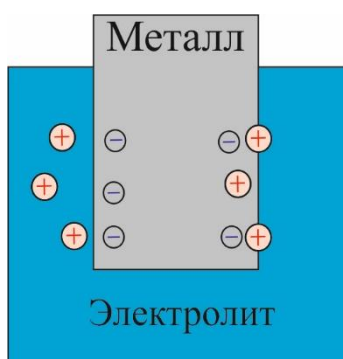


Рисунок 1. Переход положительно заряженного иона металла в электролит.

Металл корродирует тогда, когда количество положительно заряженных ионов металла попавших в раствор электролита превышает количество ионов вернувшихся обратно. В результате чего на металле остаются отрицательные заряды. Чем легче совершаются ионные переходы, тем больше образуется отрицательных зарядов, тем менее коррозионностойким считается металл, тем более он подвержен коррозии (рисунок 2).

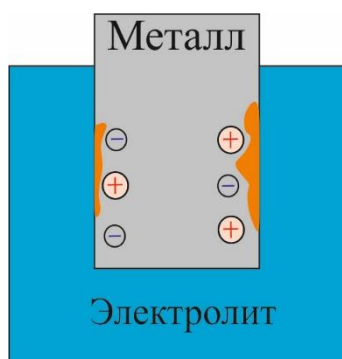


Рисунок 2. Процесс электрохимической коррозии.

Количественным показателем степени способности металла переходить в раствор в ионном состоянии является значение электрохимического потенциала, которое может быть вычислено по формуле [10]:

$$E = E_0 - k \cdot T \cdot \ln \cdot C \quad (1)$$

где  $E_0$ - нормальный потенциал металла;

$k$ - постоянный коэффициент;

$T$ - абсолютная температура;

$C$ - концентрация ионов металла в растворе электролита.

Чем выше это значение, тем медленнее совершаются ионные переходы металла в электролит, значит тем менее данный метал подвержен коррозии. Значения некоторых электродных потенциалов металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения электродных потенциалов металлов

| Металл   | Электронный процесс | Потенциал, В |
|----------|---------------------|--------------|
| Золото   | $Au^{3+}+3e=Au$     | +1,498       |
| Платина  | $Pt^{2+}+2e=Pt$     | +1,200       |
| Серебро  | $Ag^{+}+e=Ag$       | +0,799       |
| Медь     | $Cu^{2+}+2e=Cu$     | +0,337       |
| Свинец   | $Pb^{2+}+2e=Pb$     | -0,126       |
| Железо   | $Fe^{2+}+2e=Fe$     | -0,440       |
| Цинк     | $Zn^{2+}+2e=Zn$     | -0,763       |
| Алюминий | $Al^{3+}+3e=Al$     | -1,662       |
| Магний   | $Mg^{2+}+2e=Mg$     | -2,363       |
| Натрий   | $Na^{+}+e=Na$       | -2,714       |

Из таблицы следует, что металлы имеют разные отрицательные и положительные значения потенциалов. Отрицательные значения говорят о том, что сами металлы заряжены отрицательно по отношению к раствору электролита. Из рассмотренного можно сделать вывод что отрицательнее

нормальный потенциал металла, тем менее прочно он удерживает ионы при контакте с электролитом, тем больше его склонность к коррозии и наоборот.

Механизм процесса электрохимической коррозии тесно связан с работой гальванических элементов, образующихся на поверхности металла (рисунок 3). Главная причина их образования неоднородность поверхности металла из-за примесей пор, каверн, трещин, увлажнения и других факторов. В результате этого на поверхности металла формируются участки с разным электрохимическим потенциалом. Из рисунка видно, что на поверхности металла погруженного в электролит имеется участок с высоким отрицательным потенциалом (анод) и участок с меньшим отрицательным потенциалом (катод), что приводит к образованию коррозионной пары [12].

При взаимодействии электролита с металлом протекают два самостоятельных процесса: анодный и катодный. Анодный процесс: ионы металла переходят в раствор электролита, где происходит их гидратация. А оставшиеся электроны перемещаются к катоду. В результате на аноде происходит разрушение металла.

Катодный процесс: это ассимиляция или захват избыточных электронов появившихся в металле каким-либо деполяризатором, содержащимся в растворе молекулы или ионы, которого способны восстанавливаться на катоде. Если деполяризатор являются ионы водорода — это реакция водородной деполяризации, если деполяризатор кислород, то это реакция кислородной деполяризации. Оба процесса протекают сопряженно и замедление одного из них приводит к торможению и другого.

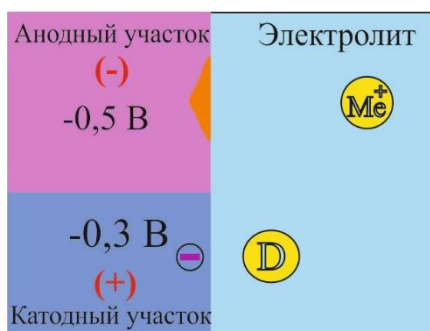


Рисунок 3. Механизм процесса электрохимической коррозии.



Таким образом электрохимическая коррозия на неоднородной поверхности металла аналогична процессу короткозамкнутого гальванического элемента.

На трубопроводе в следствие различных неоднородностей также возникают коррозионные пары: анодные и катодные участки с разным электрохимическим потенциалом поверхности, что приводит к возникновению рассмотренных выше коррозионных процессов (рисунок 4).

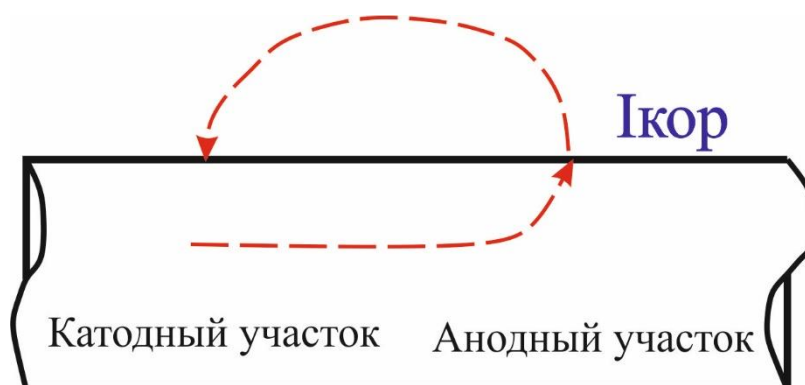


Рисунок 4. Возникновение коррозионных пар в металле подземного трубопровода.

### 1.3. Категории коррозионно-опасных участков

Критериями опасности возникновения коррозии для подземных металлических сооружений являются [17]:

- коррозионная агрессивность среды;
- опасное действие постоянного и переменного блуждающих токов.

Коррозионная агрессивность грунта по отношению к стали характеризуется значениями сопротивления грунта и средней плотности катодного тока и представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Коррозионная агрессивность грунта по отношению к стали

| Коррозионная агрессивность грунта | Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом*м | Средняя плотность катодного тока, А/м <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|---|--|
| Низкая                            | Свыше 50  | До 0,05  |
| Средняя                           | От 20 до 50                                       | От 0,05 до 0,20                                    |
| Высокая                           | До 50   | Свыше 0,20   |

На всех эксплуатируемых газопроводах должны быть выделены участки [21]:

- высокой коррозионной опасности (ВКО);
- повышенной коррозионной опасности (ПКО);
- коррозионно-опасные участки (КОУ).

К участкам высокой коррозионной опасности относятся

- участки, на которых произошли коррозионные отказы или обнаружены коррозионные повреждения глубиной свыше 15% толщины стенки, а также скорость коррозии превышает 0,5 мм в год;
- Участки газопроводов, проложенные в грунтах высокой коррозионной агрессивности;
- Участки газопроводов, находящихся в зоне блуждающих токов, при наличии положительного смещения разности потенциалов «труба-земля».

К участкам повышенной коррозионной опасности относится:

- Участки, на которых обнаружены коррозионные повреждения глубиной свыше 10% толщины стенки, а также участки на которых скорость коррозии находится в пределах 0,3-0,5 мм в год;
- Участки газопроводов, проложенные в грунтах средней коррозионной агрессивности;
- Участки, на которых имеется опасное влияние коррозионного переменного тока;

- Переходы через железные и автомобильные переходы, на расстоянии не менее 1000 метров по обе стороны от переходов;
  - Пересечения с источниками переменного тока (ВЛ-220 кВ и выше), включая участки по обе стороны от пересечения до 1000 метров;
  - Участки на которых развивается микробиологическая коррозия;
  - Участки, склонные к коррозионному растрескиванию под напряжением.
- К коррозионно-опасным участкам относятся:
- Участки, на которых длина защитной зоны устройства катодной защиты менее 3 км;
  - Участки, имеющие минимальные по абсолютной величине значения поляризационных защитных потенциалов (от – 0,95 до – 0,85 по МСЭ) или выходящего за пределы поляризационных защитных потенциалов (от -1,10 и до -1,15 В по МСЭ).

#### 1.4. Факторы, влияющие на скорость коррозии

На скорость протекания процессов коррозии металлов влияют внутренние и внешние факторы.

К внутренним факторам относятся:

- Природа металла;
- Состояние поверхности металла;
- Состояние кристаллической структуры.

По своей природе металлы, имеющие высокий электрохимический потенциал, например, медь и серебро, считаются более коррозионностойкими. Другие, имеющие низкий электрохимический потенциал, например, натрий, магний и алюминий, менее коррозионностойки [9].

Состояние поверхности металла также влияет на скорость коррозии. При шлифовке или полировке металл более коррозионностоек, при грубой обработке более подвержен коррозии. Поверхностные дефекты, к которым относятся царапины, риски, забоины и другие еще более способствуют развитию коррозии.

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 27   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

Кристаллическая структуры металла в различных стальных сплавах может иметь дефекты, обладающие повышенной реакционной способностью, а наличие посторонних примесей и включений в сплавах может приводить к росту коррозионного процесса

К внешним факторам, связанным со свойствами и параметрами агрессивной коррозионной внешней среды, в качестве которых чаще всего фигурируют различные грунты относятся:

- Влажность или водонасыщенность;
- Воздухопроницаемость грунта;
- Состав и концентрация солей и химически агрессивных солей в грунте;
- Концентрация водородных ионов;
- Температура окружающей среды;
- Удельное электрическое сопротивление грунта.

Влажность или водонасыщенность грунта является основополагающим фактором, влияющим на скорость коррозии, т.к. магистральный газопровод прокладывается не только в грунтах, имеющих удельное электрическое сопротивление, но и водах морей, озер и рек, в которых энергетической основой реакции растворения характеризующих переход ионов металла в водный раствор является гидратирующее действие молекул воды.

Воздухопроницаемость грунта зависит от его гранулометрического состава, структуры и влажности. Чем меньше величина частиц грунта, плотнее структуры, тем труднее доступ кислорода к поверхности трубопровода, т.е. затрудняется образование коррозионных пар. Тем медленнее протекают процессы кислородной деполяризации.

С увеличением концентрации солей и химически агрессивных веществ глубина повреждений металла в виде каверн и питтингов возрастает. Особенно растворению металлов содействует присутствие хлоридов и сульфатов, которые вызывают депассивацию стали и увеличивают скорость его растворения [8].

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 28   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

Снижение концентрации водородных ионов в грунте приводит к возрастанию скорости анодного процесса растворения железа и катодный процесс может протекать с водородных деполяризаций.

С увеличением температуры грунта возрастают скорости диффузии и растворимости продуктов коррозии. Неодинаковая температура отдельных участков металла приводит к возникновению термогальванических пар, в которых более нагретые участки являются анодами.

Удельное электрическое сопротивление грунта обуславливается гранулометрическим составом, однородностью, плотностью, влажностью, солевым составом значением рН почвенного электролита.

## 1.5. Коррозия на подземном газопроводе

### 1.5.1. Виды коррозии подземного газопровода

Как правило, большая часть газопроводов располагается под землей. Чаще всего при эксплуатации подземных трубопроводов наблюдаются следующие виды коррозии [9]:

- 1) Коррозия в почвенном электролите;
- 2) Микробиологическая коррозия;
- 3) Коррозия под воздействием блуждающих токов.

Коррозия в почвенном электролите наиболее распространенный вид коррозии при эксплуатации магистральных газопроводов. Рассмотрим основные процессы, которые происходят в этом случае на поверхности, уложенного в грунт металлического изолированного трубопровода. Каким бы качественным не было изоляционное покрытие металл все равно имеет контакт с влагой почвы через неплотности слоя изоляции. Влияние почвенного электролита как коррозионной среды придает процессу развития коррозии ряд особенностей: неоднородность строения и наличие пустот при полном отсутствии перемешивания твердой фазы, а также практически и жидкой фазы обуславливает электрическую гетерогенность, т.е. неоднородность почвы. Причинами такой неоднородности является:

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 29   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

различный состав почвы и разная степень увлажнения отдельных участков. Указанные причины приводят к образованию макропар дифференциальной аэрации.

Микробиологическая связана с продуктами жизнедеятельности бактерий, находящихся в почве вблизи пролегания трубопроводов, которые ускоряют действие коррозионных процессов. Существует два вида бактерий: анаэробы и аэробы.

Анаэробы – это организмы, способные жить и развиваться при отсутствии кислорода и получающие энергию для жизнедеятельности расщеплением органических и неорганических веществ.

Аэробы – это организмы, способные жить и развиваться только при наличии свободного кислорода.

В местах скопления бактерий образуются участки с малой степенью аэрации, потенциальные аноды, а также участки с различной концентрацией солей. На отдельных участках трубопровода могут осаждаться продукты микробиологической коррозии в виде пленок, обладающие более высоким потенциалом, чем железо.

Еще одним распространённым видом электрохимической коррозии подземных магистральных трубопроводов является коррозия под воздействием блуждающих токов. Источниками блуждающих токов являются: линии электрофицированных железных дорог, линии электропередач, линии катодной защиты.

#### **1.6. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ**

Защита от коррозии – это комплекс мероприятий, направленный на обеспечение долговременной эксплуатации подземного сооружения. Защита магистральных газопроводов и резервуаров должна обеспечивать их безаварийную работу на весь период эксплуатации [9].

При всех способах прокладки, кроме надземной, трубопроводы подлежат комплексной защите от коррозии.

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 30   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

Методы защиты подземных трубопроводов от коррозии подразделяют на:

1. Пассивная защита с использованием изоляционных покрытий;
2. Активная защита с использованием средств электрохимической защиты.

Активные методы защиты подземного сооружения от коррозии основаны на смещении потенциала катода до потенциала анода или в более электроотрицательную область, что приводит к замедлению коррозионного процесса.

### 1.6.1. Пассивная защита. Основные требования

Пассивная защита заключается в изоляции металла трубопровода путем нанесения на его поверхность изоляционного покрытия. Для того, чтобы оградить поверхность трубопровода от почвенного электролита и создать разрыв электрической цепи микро- и макрокоррозионных элементов на поверхность трубопровода наносят изоляционные покрытия, обладающие диэлектрическими свойствами.

Изоляционные покрытия должны удовлетворять ряду требований и иметь характеристики, отвечающие условиям работы защищаемого с их помощью трубопровода: непрерывность (сплошность), водонепроницаемость, прилипаемость (адгезия), растяжимость (дуктильность), пенетрация (глубина проникновения иглы), химическая стойкость, термостойкость, возможность механизации нанесения изоляционных покрытий, диэлектрическая сплошность [8].

В зависимости от условий прокладки трубопроводов, температурного интервала хранения и эксплуатации изолированных труб заводское полиэтиленовое покрытие может иметь следующие типы исполнения:

1. Покрытие нормального исполнения. Предназначены для применения при температурах эксплуатации +60

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 31   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

2. Покрытия нормального исполнения, термостойкие. Предназначены для применения при повышенных температурах эксплуатации трубопроводов +80
3. Покрытия нормального исполнения, с повышенной морозостойкостью. Предназначено для применения в условиях крайнего севера.
4. Покрытия специального исполнения. Предназначено для строительства подводных переходов и использования методов закрытой прокладки.

Применяемые заводские полиэтиленовые покрытия состоят из двух (адгезив и полиэтилен) или трех (праймер+адгезив и полиэтилен) слоев изоляционных материалов, наносимых на предварительно очищенные и нагретые до заданной температуры трубы методом напыления и экструзии. Слои прочно связаны между собой и образуют единое защитное покрытие.

Двухслойное полиэтиленовое покрытие может применяться только в качестве защитного покрытия нормального типа исполнения тип 1 для изляции труб диаметром до 820 мм включительно с температурой эксплуатации не выше +60.

Трехслойные полиэтиленовое покрытие может применяться в качестве наружного покрытия труб всех 4-х типов исполнения без ограничения по диаметру труб [16].

#### 1.6.2. АКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Несмотря на многообразие применяемых защитных изоляционных покрытий и их физических и химических свойств для всех из них является естественным снижение во времени диэлектрических параметров, что приводит к возникновению коррозионных процессов на защищаемых объектах. В большинстве случаев эти процессы могут быть заторможены, или полностью остановлены путем применения средств электрохимической защиты.

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 32   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |



Электрохимические средства защиты обеспечивают повышение долговечности покрытий и покрытий.

Электрохимическая защита от коррозии подземных газопроводов включает в себя:

1. Катодная защита;
2. Протекторная защита;
3. Электродренажная защита.

### 1.6.2.1. Катодная защита

Основным средством электрохимической защиты от коррозии подземных магистральных трубопроводов является катодная защита (рисунок 5) [12].

К основным элементам системы катодной защиты относятся:

- Источник электроснабжения;
- Источник защитного тока;
- Дренажные линии постоянного тока;
- Контрольно-измерительные пункты;
- Анодные заземления.

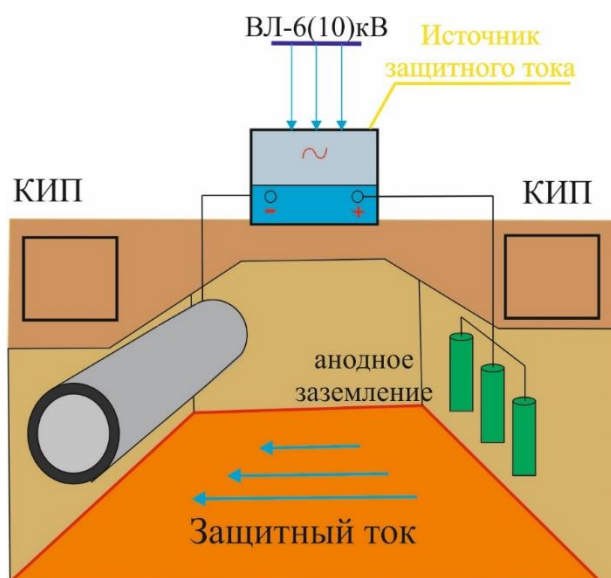


Рисунок 5. Принципиальная схема катодной защиты.

Необходимыми условиями эффективности работа катодной защиты является наличие электрического контакта посредством проводников, и

электролитического контакта посредством почвенного электролита между защищаемым трубопроводом и анодным заземлением.

Катодная защита – это способ защиты сооружений принудительной катодной поляризацией, с помощью регулируемого внешнего источника постоянного тока. В качестве такого источника тока используются установки которые представляют собой специальные выпрямители, преобразователи переменного тока промышленной частоты в постоянный ток, используемый для поляризации.

Катодная защита заключается в том, что защищаемый объект отрицательно поляризуется и его потенциал сдвигается до величины при которой значительно или полностью подавляется процесс коррозии металла. Для этого защищаемый трубопровод соединяется с отрицательным полюсом источника тока и действует в качестве катода, для образования замкнутой по току цепи положительный полюс источника тока соединяется с анодным заземлением, которое действует в качестве анода и находится в той же электролитической среде, что и защищаемое сооружение [12]. В результате такой поляризации растворение металла происходит на аноде, а не на трубопроводе.

Катодная защита регулируется путем поддержания защитного потенциала, который измеряют между трубопроводом и специальным медносульфатным электродом сравнения. Этот потенциал измеряется с помощью специального высокоомного вольтметра на контрольно-измерительных пунктах.

Электрохимическая защита должна обеспечивать в течение всего срока эксплуатации непрерывную во времени катодную поляризацию трубопровода и на всей его поверхности таким образом, чтобы значения потенциалов на трубопроводе были по абсолютной величине не меньше минимального и больше максимального значений.

В качестве источников защитного тока в системах катодной защиты для обеспечения защитного потенциала на трубопроводе используются

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 34   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

автоматические выпрямители, обеспечивающие работу в следующих режимах:

- Автоматическое поддержание защитного потенциала;
- Стабилизация выходного тока;
- Ручное регулирование выходного напряжения.

Выпрямители обеспечивают совместную работу с различными комплексами телемеханики, надежное включение в работу после кратковременных и длительных исчезновений напряжения питающей сети, автоматическое повторное включение при срабатывании защиты.

Контроль работы катодной защиты производится на контрольно-измерительных пунктах, располагающихся равномерно вдоль трассы газопровода в зоне действия средств электрохимической защиты. Конструктивно контрольно-измерительный пункт представляет собой цилиндрическую стойку с закрытой клеммной панелью.

Все соединения в измерительных цепях электрохимической защиты должны выполняться медью с сечением не менее 6 мм<sup>2</sup>.

Контроль проводится путем измерения поляризационных потенциалов участков подземного трубопровода в местах нахождения контрольно-измерительных пунктов. Результаты измерений заносятся в ведомость или протокол измерений потенциалов, полевой журнал, и журналы эксплуатации установок.

Поляризационный потенциал – это потенциал трубопровода без омической составляющей, в которую входят сопротивление грунта, сопротивление поляризации анода и катода. Для измерения поляризационного потенциала измеритель потенциалов подключается к трубопроводу, датчику потенциала и электроду сравнения (рисунок 6). Также ниже представлена схема измерения поляризационного потенциала.

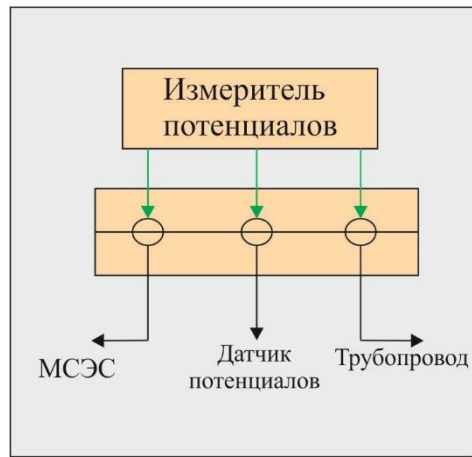


Рисунок 6. Схема измерения потенциалов.

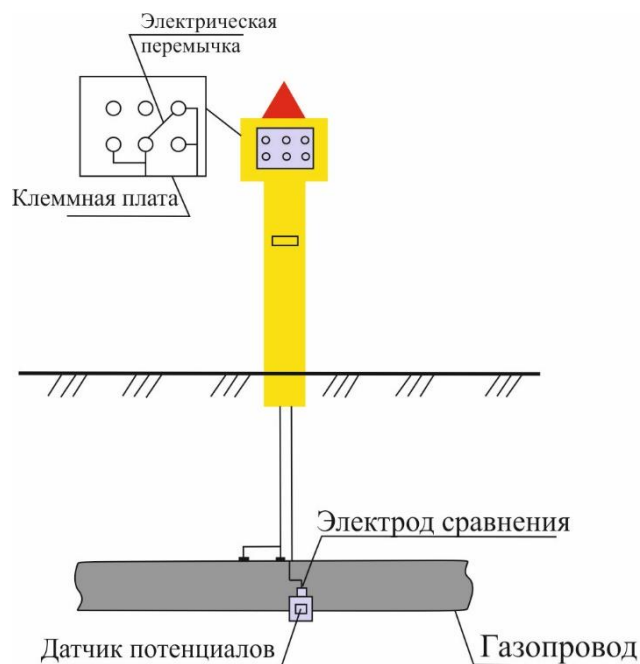


Рисунок 7. Схема подключения КИП для измерения поляризационного потенциала.

Величина защитного тока от источника должна обеспечивать требуемый диапазон значений поляризационных потенциалов на всем защищаемом участке газопровода.

Катодная защита используется совместно с изоляционными покрытиями нанесенными на наружную поверхность защищаемого трубопровода. Хорошее изоляционное покрытие уменьшает значение защитного тока на несколько порядков. Но по мере разрушения покрытия и оголения металла защитный ток необходимо увеличивать для обеспечения защиты сооружения.

В системах катодной защиты в качестве растворимых анодов используют следующие основные типы заземлений:

1. Поверхностные заземления;
2. Глубинные заземления;
3. Протяженные заземления.

Поверхностные заземления применяют в грунтах с удельным сопротивлением до 100 Ом\*м, глубинные до 250 Ом\*м, протяженные свыше 250 Ом\*м.

Широкое применение нашли анодные заземления типа «Менделеевец-ММ» и графитопластовые электроды типа ЭГ или ЭГТ.

Заземлитель «Менделеевец-ММ» представляет собой цилиндрический контейнер, в котором с помощью центрирующих перегородок размещен ферросилидовый электрод, а свободное пространство заполнено коксо-минеральным активатором (рисунок 8) [16]. Фиксирующая крышка исключает перемещение электрода и высыпание активатора. Соединительный кабель расположен в пространстве между фиксирующей и транспортной крышкой.

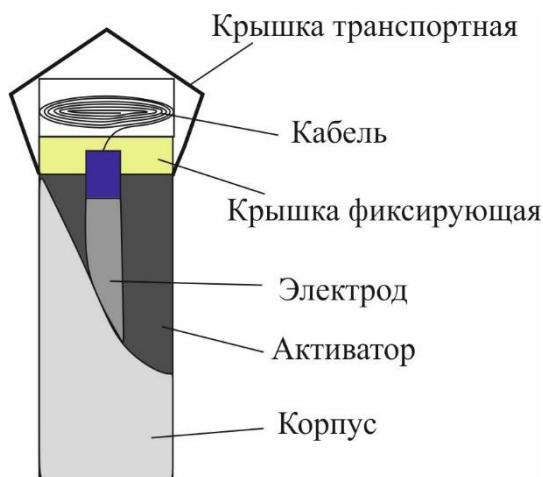


Рисунок 8. Анодный заземлитель «Менделеевец-ММ».

Система катодной защиты включает несколько установок катодной защиты, каждая из которых состоит из следующих элементов:

1. Источник электроснабжения 220 В, 50 Гц;
2. Катодные станции;

3. Устройство автоматического включения резервного преобразователя;
4. Анодное заземление;
5. Линии постоянного тока;
6. Контрольно-измерительные пункты;
7. Блоки дистанционного контроля и регулирования параметров защиты.

#### 1.6.2.2. Протекторная защита

Установки протекторной защиты трубопроводов от почвенной коррозии применяются в районах, где отсутствуют источники электроэнергии, а также для защиты участков газопроводов небольшой протяженности.

Принцип работы протекторной защиты состоит в том, что при замыкании двух электродов трубопровода и протектора помещенных в электролитическую среду грунта между ними возникает разность потенциалов, обусловленная различными потенциалами материалов стального трубопровода и протектора из магния, цинка и алюминия (рисунок 9). При этом движение электронов направлено от электрода с более отрицательным электрохимическим потенциалом (анода) к электроду с менее отрицательным электрохимическим потенциалом (катода) через контрольно-измерительный пункт. Соответственно ток коррозии направляется с трубопровода к протекторам, с которых стекает в грунт.

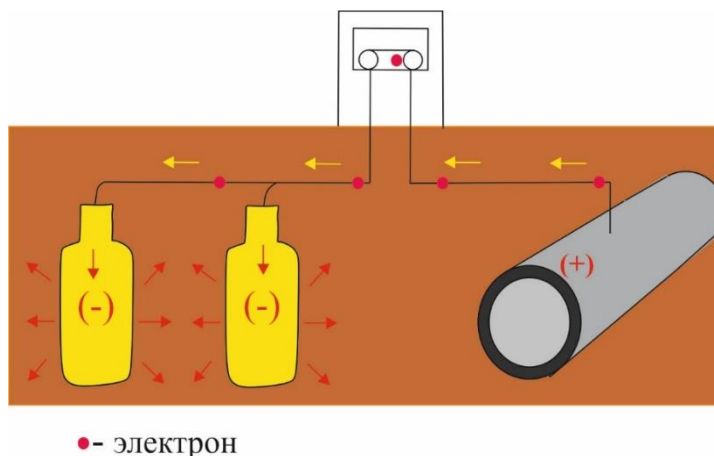


Рисунок 9. Принципиальная схема протекторной защиты.

Для эффективности действия протекторной защиты применяются активаторы, состоящие из смеси солей в которые помещают анод с целью уменьшения сопротивления растеканию, что обеспечивает при прочих равных условиях увеличение тока защиты и протяженность зоны защиты. Цепь тока защиты замыкается через электролитическую среду, причем, обязательным условием является переход с анода в электролит ионов металла, т.е. разрушение металла протектора [16].

Для изготовления протекторов могут использоваться магний, алюминий и цинк. В чистом нелегированном виде, эти материалы не используются, т.к. магний имеет сравнительно низкую токоотдачу. А алюминий и цинк склонны к пассивации, т.е. образованию на поверхности окисной пленки. Введение добавок или легирование позволяет получить сплавы с более отрицательными, чем у основного металла потенциалами, оставаться активными, равномерно корродировать и не становиться пассивными в электролитической среде.

Конструктивное исполнение и внешний вид одного из применяемых магниевых протекторов показано на рисунке 10. Он представляет собой анод из магниевых сплава, с порошкообразным активатором, упакованный в хлопчатобумажный мешок.

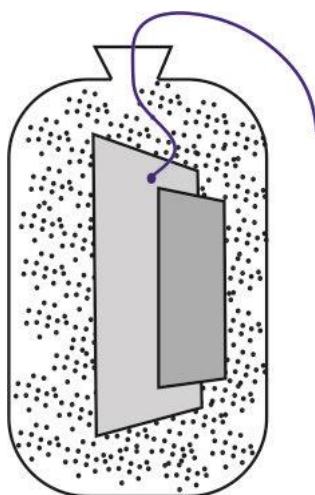


Рисунок 10. Конструктивное исполнение магниевых протекторов ПМ-10.

В состав установок протекторной защиты входят:

- 1) Одиночные протекторы и их группы;
- 2) Протяженные протекторы и их группы;

- 3) Соединительные провода и кабели;
- 4) Контрольно-измерительные пункты;
- 5) Блоки регулирования защиты.

### 1.6.2.3. Защита от блуждающих токов

Основным средством защиты от блуждающих токов является электродренажная защита. Она заключается в отводе блуждающих токов из защищаемого сооружения к источнику этих токов посредством электродренажного соединения (рисунок 11). При отсутствии электродренажного соединения току стекающему с газопровода в анодной зоне придется преодолевать довольно большое переходное сопротивление между газопроводом и рельсами [14].

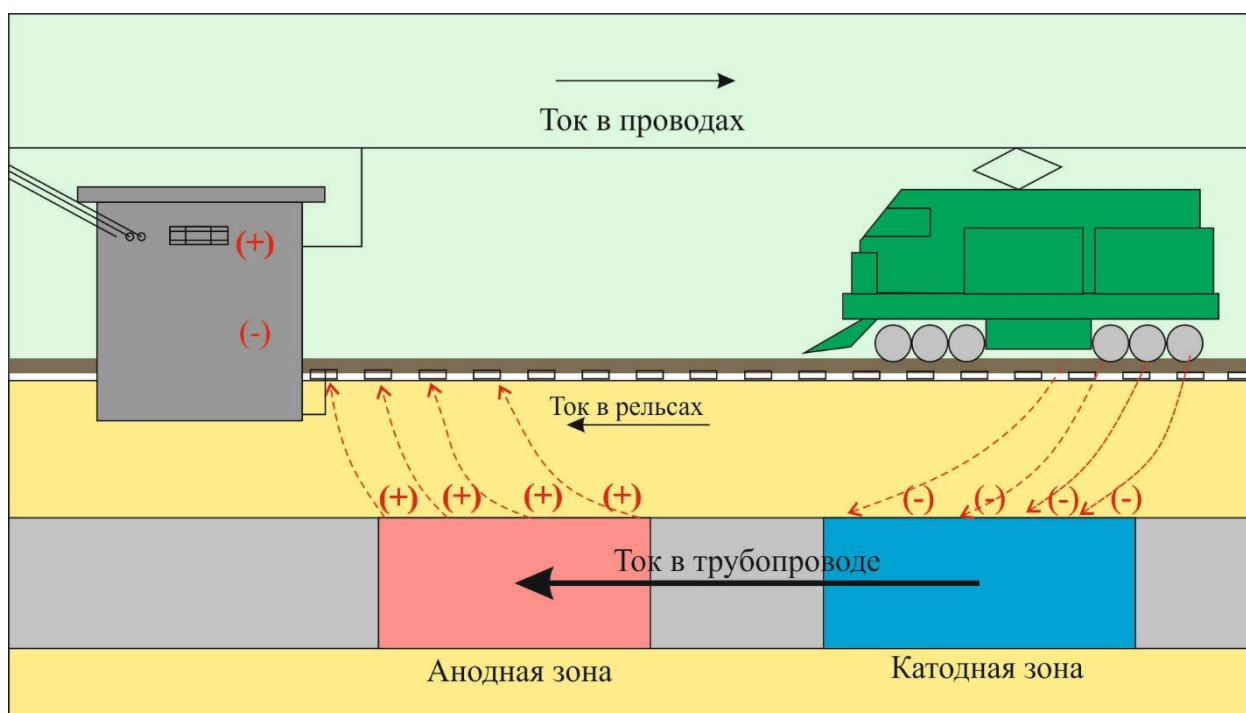


Рисунок 11. Принципиальная схема электродренажной защиты.

Переходное сопротивление изменяется в зависимости от влажности и температуры в течение года. В результате этих изменений изменяется и величина тока с рельсов в газопровод и обратно, а следовательно и интенсивность коррозии.

Если электрически соединить рельсы и трубопровод в анодной зоне, то по нему протечет ток. Это соединение называется дренажным. И ток дренажа



будет зависеть от разности потенциалов трубопровода и рельса, а также от величины дренажного сопротивления, т.к. переходное сопротивление «трубопровод-рельс» шунтируются сопротивлением дренажа. При этом электроныдвигающиеся противоположно направлению дренажного тока с рельса натекая на трубопровод по электрической цепи смещает потенциал трубопровода на анодной зоне с плюса в отрицательную область. В результате большая часть тока стекающего с трубопровода будет протекать по дренажному соединению, а не стекать в почву, что приведет к резкому снижению интенсивности коррозии.

Все станции дренажной защиты применяемых на магистральных трубопроводах являются автоматическими. По принципу регулирования их подразделяют на станции:

1. С автоматическим регулированием направления тока;
2. С автоматическим регулированием потенциала.

К установкам с автоматическим регулированием направления тока относятся: поляризованные (электромагнитные и вентильные) и усиленные.

В схемах поляризованных электромагнитных дренажных установок используют электромагнитное реле и контактеры для включения установок при прямых токах и отключении их при обратных. Примером таких установок является универсальная поляризованная дренажная установка УПДУ 57 (рисунок 12).

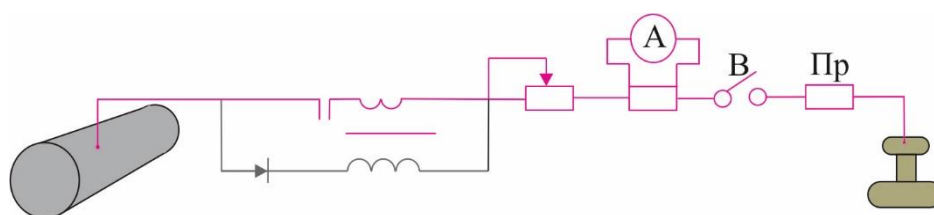


Рисунок 12. Схема электромагнитной установки УПДУ-57.

Для автоматического регулирования потенциала трубопровода в зоне действия блуждающих токов применяют усиленные дренажные установки, поддерживающие защитный потенциал трубопровода на заданном уровне в анодном и знакопеременных полях блуждающих токов. По принципу действия

работа таких установок похожа на работу автоматических станций катодной защиты.

В состав систем дренажной защиты входят:

1. Установка дренажной защиты;
2. Соединительные провода и кабели;
3. Контрольно-измерительные пункты;
4. Блоки регулирования защиты.

Дренажные установки следует подключать к рельсовой цепи только через отсасывающие фидеры и средние точки путевых дросселей.

Среднечасовой ток всех установок системы дренажной защиты находящихся в зоне действия одной тяговой подстанции электрофицированной железной дороги не должен превышать 20% общей среднечасовой токовой нагрузки этой подстанции.

В случае изменения режима работы источника блуждающего тока необходимо провести обследование трубопровода в зоне их влияния и при необходимости разработать и осуществить меры по реконструкции системы электрохимической защиты [21].

### 1.7. Вывод к главе 1.

Данная глава посвящена литературному обзору к теме нашей диссертации. В настоящей главе раскрыты понятия о процессах видах коррозионных процессов, методах защиты от электрохимической коррозии.

В данной главе приведен общий анализ всех методов защиты магистрального трубопровода от коррозии в зависимости от характера воздействия коррозионных процессов на подземное металлическое сооружение. Подводя итог, следует отметить, что процесс коррозии по своей природе необратимый процесс, но инженер в силах уменьшить воздействие коррозионных процессов путем применения средств электрохимической защиты, тем самым обеспечив долговечность и надежность подземного металлического сооружения.

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 42   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

В следующей главе описывается объект и методы исследования, поставлены соответствующие задачи.

|      |      |          |         |      |                             |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 1. Литературный обзор | Лист |
|      |      |          |         |      |                             | 43   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                             |      |

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Краткая характеристика существующего объекта

Магистральный газопровод [REDACTED] сдан в эксплуатацию в 1993 году. Смонтирован из прямошовных труб диаметром [REDACTED] с толщиной стенки 12 мм. Защита газопровода от почвенной коррозии выполнена пленочным покрытием [REDACTED] усиленного типа, с расчетным сопротивлением  $50000 \text{ Ом}\cdot\text{км}^2$  на начальный период и  $10000 \text{ Ом}\cdot\text{км}^2$  на конечный период эксплуатации. Изоляционное покрытие наносилось в трассовых условиях машинным способом. Глубина залегания газопровода составляет 0,8-2,2 м.

Ниже представлена схема расположения станций катодной защиты магистрального газопровода [REDACTED] (рисунок 13).



Рисунок 13. Схема расположения станций катодной защиты магистрального газопровода [REDACTED]

В настоящее время для защиты газопровода от подземной коррозии

|           |      |                |         |      |   |                              |      |        |
|-----------|------|----------------|---------|------|---|------------------------------|------|--------|
|           |      |                |         |      | Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода |                              |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум.       | Подпись | Дата |   |                              |      |        |
| Разраб.   |      | Данилов И.Е.   |         |      | Глава 2. Объект и методы исследования                                     | Лит.                         | Лист | Листов |
| Руковод.  |      | Какушкин Ю.А.  |         |      |   |                              | 44   | 120    |
| Консульт. |      |                |         |      |   | НИ ТПУ ИПР<br>ТХНГ гр. 2БМ4А |      |        |
| Зав. Каф. |      | Рудаченко А.В. |         |      |   |                              |      |        |

применяется следующий тип средств катодной защиты:

██████████, установленный в бочке сваренный из трубы диаметром 1200 мм (рисунок 14). Реконструируемая установка катодной защиты находится на 36.6 км., и не имеет автоматизированного контроля и управления.



Рисунок 14. Преобразователь катодной защиты, установленный в бочке сваренной из трубы диаметром 1200 мм.

По результатам комплексного периодического коррозионного обследования магистрального газопровода ██████████ проведенного в 2015 году ██████████ на данном МГ зон высокой коррозионной опасности (ВКО) нет, мест недозащиты и перезащиты нет, техническое состояние и эффективность работы средств ЭХЗ оценено как удовлетворительное, обнаружены незначительные повреждения изоляционного покрытия, на данном магистральном газопроводе изолирующих вставок и фланцев нет.

## 2.2. Физико-географические и инженерно-геологические характеристики

Исследуемые участки расположены в пределах [REDACTED] [REDACTED] - пологой увалистой эрозионной возвышенной равнины, сложенной с поверхности нижне-среднечетвертичными озерно-болотными и аллювиально-озерными отложениями.

В геологическом разрезе площадок УКЗ и трассы ВЛ до глубины 4.0 м представлены преимущественно суглинки и глины от твердой до текучепластичной консистенции.

Также отмечается наличие специфических грунтов в логах и поймах ручьев по трассе ВЛ.

Гидрогеологические условия исследуемого участка характеризуются развитием болотных и грунтовых современных озерно-аллювиальных и болотных отложений.

Болотные воды распространены в логах и поймах ручьев. Формирование болотных вод в пределах изучаемой территории обусловлено наличием в разрезе слабопроницаемых грунтов, что способствует накоплению в понижениях атмосферных осадков и грунтовых вод.

По химическому составу болотные воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые-натриевые, гидрокарбонатные натриево-магниевые-кальциевые и гидрокарбонатные кальциевые-натриевые пресные и весьма пресные. По содержанию хлоридов среднеагрессивные к арматуре железобетонных конструкций при периодическом смачивании и неагрессивные при постоянном погружении. К металлоконструкциям - среднеагрессивные.

Грунтовые воды озерно-аллювиальных отложений, типа поровых безнапорных, распространены спорадически на глубинах 0.3-3.5 м от поверхности земли, на абсолютных отметках 131.82-218.87 м. Водовмещающими являются суглинки текучепластичные.

|      |      |          |         |      |                                       |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 2. Объект и методы исследования | Лист |
|      |      |          |         |      |                                       | 46   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                       |      |

По химическому составу вода гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, гидрокарбонатная магниевая-кальциевая-натриевая, гидрокарбонатная магниевая-натриево-кальциевая, гидрокарбонатная натриево-магниевая-кальциевая и гидрокарбонатная кальциевая-натриевая пресная и весьма пресная. По содержанию хлоридов среднеагрессивная к арматуре железобетонных конструкций при периодическом смачивании и неагрессивная при постоянном погружении. К металлоконструкциям - среднеагрессивная.

Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Поправка к уровню воды для марта-апреля составляет 1.0 м.

### 2.3. Характеристики удельного электрического сопротивления грунта

В соответствии с ГОСТ 9.602-2005 п. 4.2 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии» для оценки коррозионной агрессивности грунта по отношению к стали определяют удельное электрическое сопротивление грунта, измеренное в полевых и лабораторных условиях, и среднюю плотность катодного тока при смещении потенциала на 100 мВ отрицательней стационарного потенциала стали в грунте (таблица 2). Если при определении одного из показателей установлена высокая коррозионная агрессивность грунта, то другой показатель не определяют.

Определение УЭС грунта на глубине 5 м. на площадках проектирования УКЗ выполнялось с целью получения исходных данных для расчета сопротивления проектируемых анодных заземлителей.

Удельное сопротивление грунтов приведено в таблице 3.

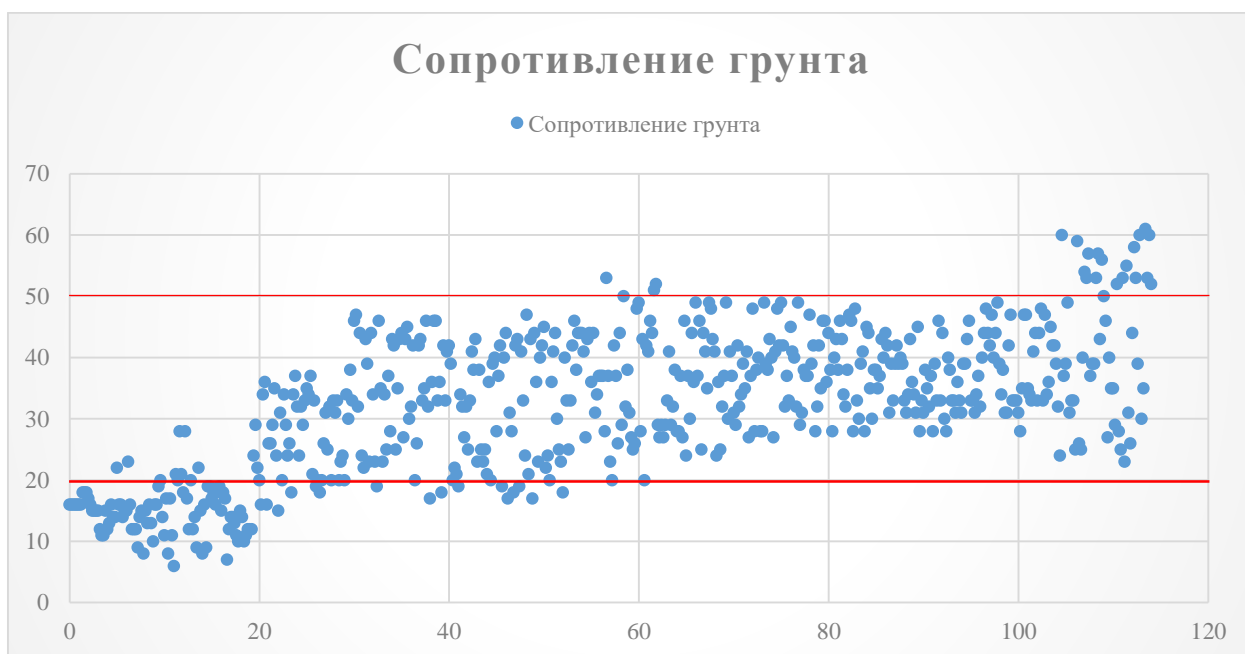
Таблица 3 – Удельное сопротивление грунтов.

| № п.п. | Расположение, км | Тип установки ЭХЗ | Удельное сопротивление грунта, Ом | Коррозионная активность грунта (по ГОСТ 9.602-89*) | Примечание |
|--------|------------------|-------------------|-----------------------------------|--|------------|
| 1      | 26,6             | УКЗ               | 25,6                              | Средняя  |            |

| № п.п. | Расположение, км | Тип установки ЭХЗ | Удельное сопротивление грунта, Ом м | Коррозионная активность грунта (по ГОСТ 9.602-89*) | Примечание |
|--------|------------------|-------------------|-------------------------------------|--|------------|
| 2      | 36,4             | УКЗ               | 31                                  | Средняя  |            |
| 3      | 48,6             | УКЗ               | 23,7                                | Средняя  |            |
| 4      | 62,2             | УКЗ               | 30                                  | Средняя  |            |
| 5      | 70,7             | УКЗ               | 26,3                                | Средняя  |            |
| 6      | 79,8             | УКЗ               | 26                                  | Средняя  |            |
| 7      | 87,8             | УКЗ               | 26,40                               | Средняя  |            |
| 8      | 95               | УКЗ               | 28,7                                | Средняя  |            |
| 9      | 100,8            | УКЗ               | 21,3                                | Средняя  |            |
| 10     | 107              | УКЗ               | 21                                  | Средняя  |            |
| 11     | 109              | УКЗ               | 21,1                                | Средняя  |            |

В ходе исследования был проведен анализ сопротивления грунта вдоль трубопровода [REDACTED] МГ [REDACTED]. Визуально сопротивление грунта изображено в графике 1.

График 1 – Сопротивление грунта вдоль магистрального газопровода [REDACTED].



Исходя из графика видно, что практически по всей трассе магистрального газопровода удельное электрическое сопротивление грунтов средней коррозионной агрессивности.

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



Значения показателей, находящихся между красными линиями показаны значения средней коррозионной агрессивности. Показатели, находящиеся ниже 20 – это значения высокой коррозионной активности, а значения выше 50 – это показатель низкой коррозионной агрессивности.

#### 2.4. Климатические характеристики районов

Климат района работ резко-континентальный.

Климатическая характеристика районов строительства приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики районов строительства

| Климатические параметры холодного периода года  |                        |                        |
|---|------------------------|------------------------|
| Температура воздуха наиболее холодных суток, обеспеченностью 0.98/0.92                                    | минус 44°C/ минус 42°C | минус 43°C/ минус 42°C |
| Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0.98/ 0.92                              | минус 42°C/ минус 39°C | минус 40°C/ минус 39°C |
| Абсолютная минимальная температура воздуха  | минус 50°C             | минус 51 °C            |
| Средняя месячная относительная влажность наиболее холодного месяца  | 80%                    | 82%                    |
| Количество осадков за ноябрь-март   | 104 мм                 | 154 мм                 |
| Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль  | ЮЗ                     | ЮЗ                     |
| Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с  | 5.7                    | 5.6                    |
| Среднемесячная относительная влажность воздуха часов наиболее холодного месяца                            | 77%                    | 80%                    |
| Максимальный нормативный скоростной напор ветра на высоте до 15м от земли при максимальной скорости ветра | 650 Па (32 м/с)        | 650 Па (32 м/с)        |
| Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха <0°C                                   | 178 суток              | 175 суток              |
| Средняя температура периода со средней суточной температурой воздуха <0°C                                 | минус 12.4°C           | минус 12.1°C           |
| Нормативная толщина стенки гололеда   | 15 мм                  | 15 мм                  |
| <b>Климатические параметры теплого периода года</b>   |                        |                        |
| Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца  | +24.6°C                | +24.8°C                |
| Абсолютная максимальная температура воздуха   | +38°C                  | +36°C                  |
| Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца                                  | 72%                    | 72%                    |
| Количество осадкой за апрель-октябрь  | 338 мм                 | 372 мм                 |
| Среднемесячная относительная влажность воздуха часов наиболее теплого месяца                              | 56%                    | 57%                    |
| Преобладающее направление ветра за июнь-август  | ЮЗ                     | ЮЗ                     |
| Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с   | 0                      | 2.9                    |
| Среднегодовая продолжительность гроз  | от 40 до 60 часов      | от 40 до 60 часов      |
| Среднегодовая температура   | +0.2°C                 | +0.1 °C                |

## 2.5. Методы исследования

Исследование проводилось на основании материалов комплексного периодического коррозионного обследования магистрального газопровода

Исследование проводилось в соответствии с СТО Газпром 2-2.3-310-2009 «Организация коррозионных обследований объектов ОАО «Газпром», СТО Газпром 2-3.5-454-2010 «Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов», а также в соответствии с ГОСТ Р 51164098 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии» [21].

После обработки полученных данных в результате анализа материалов электрометрии, определена степень защищенности участков газопровода существующими средствами ЭХЗ с указанием их технического состояния. Отражено общее состояние изоляционного покрытия. Сделаны расчеты и разработаны рекомендации по повышению эффективности эксплуатации средств противокоррозионной защиты.

Одним из методов исследования противокоррозионной защиты участка магистрального газопровода является анализ и расчет электрических характеристик, параметров установок катодной защиты и анодного заземления согласно нормативно-технической документации, а именно ГОСТ Р 51164-98 [21] и ГОСТ 9.602-2005 [22], СТО Газпром 9.0-001-2009 [17], СТО Газпром 9.2-002-2009 [16], СТО Газпром 9.2-003-2009 [15] и СТО Газпром 9.2-005-2009 [14].

## 2.6. Выводы к главе 2.

Вторая глава посвящена подробному обзору и описанию объекта исследования. Во-первых, объектом исследования данной диссертации являются средства электрохимической защиты. Во-вторых, к основным задачам предприятия относится надежная и бесперебойная подача газа потребителям. Данная задача становится

|      |      |          |         |      |                                       |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 2. Объект и методы исследования | Лист |
|      |      |          |         |      |                                       | 50   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                       |      |

невозможной в связи с процессами коррозии, которые являются неотъемлемой частью производства. Поэтому проанализированы методы защиты подземного трубопровода от коррозии. В-третьих, в связи с необходимостью усовершенствовать средства ЭХЗ, предлагается провести их реконструкцию, путем внедрения нового современного оборудования, отвечающем требованиям ПАО «Газпром» согласно реестру электрохимического оборудования.

В следующей главе произведен расчет электрических характеристик трубопровода, расчет установки катодной защиты и анодного заземления.

|      |      |          |         |      |                                       |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | Глава 2. Объект и методы исследования | Лист |
|      |      |          |         |      |                                       | 51   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                       |      |

## Глава 5. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Подземный трубопровод с одним единственным сквозным проржавлением уже не пригоден для нормальной эксплуатации, хотя он еще на 99,99% цел и невредим. Если трубопровод с отверстием в стенке – это газопровод высокого давления, то упомянутое разрушение (всего лишь 0,01% от целого) может дорого стоить обществу, случись авария со взрывом и огнем. Убытки от коррозии в мире настолько огромны, что общество вынуждено тратить ежегодно десятки, а может и сотни миллиардов долларов на борьбу с ней. Общая сумма прямых коррозионных потерь в США составляет около 70 млрд. долларов в год, т.е. более 4% валового национального продукта. Подсчитано, что около 15% этих потерь можно было бы избежать, своевременно используя современные средства защиты.

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности введения ЭХЗ на МГ «Новосибирск-Кузбасс»;
- расчет затрат на реализацию проекта;
- планирование научно-исследовательских работ и работ по реализации

|  |             |                       |                  |               |
|--|-------------|-----------------------|------------------|---------------|
| <i>Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода</i>   |             |                       |                  |               |
| <i>Изм.</i>  | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Подпись</i>   | <i>Дата</i>   |
| <i>Разраб.</i>   |             | <i>Данилов И.Е.</i>   |                  |               |
| <i>Руковод.</i>  |             | <i>Какушкин Ю.А.</i>  |                  |               |
| <i>Консульт.</i>   |             |                       |                  |               |
| <i>Зав. Каф.</i>   |             | <i>Рудаченко А.В.</i> |                  |               |
| <i>Глава 5. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> |             |                       |                  |               |
|  |             | <i>Лит.</i>           | <i>Лист</i>      | <i>Листов</i> |
|  |             |                       | 52               | 120           |
|  |             | <b>НИ ТПУ</b>         | <b>ИПР</b>       |               |
|  |             | <b>ТХНГ</b>           | <b>гр. 2БМ4А</b> |               |



определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

## 5.1. Расчет затрат на реализацию проекта

### 5.1.1. Расчет капитальных затрат

Одним из основных показателей при расчете экономической эффективности являются капитальные затраты. Они состоят из двух составляющих: капитальные вложения на проектирование и капитальные вложения на реализацию проекта [5].

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

$$K_{пр} = 5\,577\,824 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения на реализацию проекта включает:

2. Затраты на приобретение оборудования (таблица 21);

Таблица 21 – Стоимость оборудования:

| Наименование оборудования  | Един. изм. | Кол. | Цена за единицу, руб. | Всего, руб. |
|--|------------|------|-----------------------|-------------|
| КМО-НГК–ИПКЗ-Евро-2.0/48/У2  | шт.        | 2    | 7 755 336             | 15 510 672  |
| Анодный заземлитель «Менделеевец»-ММ                                   | комплект.  | 1    | 350 677               | 350 677     |
| Медносульфатный электрод сравнения, неполяризующийся                   | шт.        | 30   | 17 952                | 538 565     |
| Пункт контрольно-измерительный на 6 силовых и 12 измерительных зажимов | шт.        | 30   | 15 000                | 450 000     |
| Блок-бокс с утепленной оболочкой, освещением, отоплением и вентиляцией | шт.        | 2    | 1 236 857             | 2 473 714   |
| Дизель-электрическая установка   | шт.        | 1    | 2 500 811             | 2 500 811   |

| Наименование оборудования        | Един. изм. | Кол. | Цена за единицу, руб. | Всего, руб. |
|----------------------------------|------------|------|-----------------------|-------------|
| Трансформатор ОМП 10/10-0,23     | шт.        | 1    | 70 000                | 70 000      |
| Разъединитель РЛНД 1-10-200      | шт.        | 1    | 15 000                | 15 000      |
| Предохранитель ПКТ 101-10-2-12,5 | шт.        | 1    | 3 500                 | 3 500       |
| Разрядник РВО-10 У1              | шт.        | 1    | 1 500                 | 1 500       |
|                                  |            |      | Итого К <sub>об</sub> | 21 914 439  |

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

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

4. Расчет амортизационных отчислений для оборудования электрохимической защиты от коррозии магистрального газопровода проведен согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 06.07.2015) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы" представлены в таблице 22.

Таблица 22 — Амортизационные отчисления для оборудования электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов

| № | Наименование   | Амортизационная группа | Норма амортизации | Сумма амортизации за 1 год, рублей |
|---|--|------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 | Блок-бокс с утепленной оболочкой, освещением, отоплением и вентиляцией | 7 группа               | 8 %               | 197 897                            |
| 2 | Комплекс модульного оборудования НГК–ИПКЗ-Евро-2.0/48/У2               | 6 группа               | 6,8 %             | 1 054 725                          |
| 3 | Дизель-электрическая установка   | 6 группа               | 6,8 %             | 170 055                            |
| 4 | Пункт контрольно-измерительный   | 6 группа               | 5,3 %             | 23 850                             |

| № | Наименование   | Амортизационная группа | Норма амортизации | Сумма амортизации за 1 год, рублей |
|---|--|------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 5 | Медносульфатный электрод сравнения, неполяризующийся | 5 группа               | 4,8%              | 25 851                             |
| 6 | Анодный заземлитель «Менделеевец»-ММ                 | 5 группа               | 5,5%              | 19 287                             |
| 7 | Комплекс вспомогательного оборудования               | 6 группа               | 7 %               | 6 300                              |
|   |  |                        | <i>Итого (А)</i>  | 1 497 965                          |

Объединим в один комплекс трансформатор ОМП 10/10-0,23, разъединитель РЛНД 1-10-200, предохранитель ПКТ 101-10-2-12,5, разрядник РВО-10 У1, т.к. они являются вспомогательными устройствами, подключаемых к системе электрохимической защиты магистральных трубопроводов от коррозии и принадлежат к 6 амортизационной группе, с нормой амортизации 7%.

Затраты на материалы представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Затраты на материалы

| № п/п | Наименование            | Ед. | Кол-во | Цена      | Сумма, руб. |
|-------|-------------------------|-----|--------|-----------|-------------|
| 1     | Затраты на топливо      | -   | 1      | 1 500 000 | 1 500 000   |
| 2     | Строительные материалы  | -   | 1      | 2 500 000 | 2 500 000   |
| 3     | Лакокрасочные материалы | -   | 1      | 900 000   | 900 000     |
| 4     | Другие затраты          | -   | 1      | 500 000   | 500 000     |



| №<br>п/п               | Наименование | Ед. | Кол-во | Цена | Сумма, руб. |
|------------------------|--------------|-----|--------|------|-------------|
| ИТОГО К <sub>мат</sub> |              |     |        |      | 5 400 000   |

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

Монтаж и демонтаж оборудования производится специалистами инженерно-технического отдела. Рассмотрены основные виды работ, которые необходимы для проведения реконструкции средств электрохимической защиты и представлены в таблице 24. Данные виды работ относятся к контрагентным услугам

Таблица 24 – Затраты на демонтаж старого и на монтаж нового оборудования

| №                    | Наименование работ                                | Обоснование работ   | Сумма затрат, руб. |
|----------------------|---|---|--------------------|
| Демонтаж системы ЭХЗ |   |   |                    |
| 1.                   | Демонтаж средств ЭХЗ: оборудования СКЗ, стоек КИП | 1. Демонтаж устройств катодной защиты высоковольтного УКЗВ с разборкой защитного заземления;<br>2. Демонтаж стоек КИП с кабелями сечением 6 мм <sup>2</sup> | 84 627,52          |
| 2.                   | Демонтаж участка воздушной линии электропередачи  | 1. Демонтаж проводов ВЛ 10 кВ; Демонтаж разъединителей РЛНД-1-10/200;<br>2. Демонтаж трансформатора напряжения  | 382 983            |

| №                    | Наименование работ   | Обоснование работ  | Сумма затрат, руб. |
|----------------------|--|--|--------------------|
| Демонтаж системы ЭХЗ |  |  |                    |
|                      |  | однофазного<br>силового ОМП-<br>10/10-0,23;<br>3. Демонтаж опор<br>ВЛ 0,38-10 кВ.  |                    |
| 3.                   | Вывоз<br>демонстрированных<br>конструктивных<br>элементов ВЛ | 1. Вывоз<br>конструкций и<br>материалов<br>демонтированных<br>опор ВЛ 0,38-10<br>кВ;<br>2. Погрузка<br>демонтированного<br>провода АС-35,<br>трансформатора,<br>блок-бокса,<br>РЛНД, стоек,<br>электродов<br>сравнения при<br>автомобильных<br>перевозках. | 206 454,5          |
| ИТОГО:               |  |  | 587 884,02         |

| №                  | Наименование работ  | Обоснование работ                                   | Сумма затрат, руб. |
|--------------------|---|---|--------------------|
| Монтаж системы ЭХЗ |   |   |                    |
| 1.                 | Разработка траншей<br>для канализации<br>кабельных линий,<br>установки средств<br>системы ЭХЗ | 1. Разработка грунта в<br>траншеях<br>экскаватором. | 290 124            |
| 2.                 | Устройство участка<br>канализированных  | 1. Прокладка кабеля<br>ВББШв 3x35 мм <sup>2</sup> в | 2 065 379,73       |

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

| №                  | Наименование работ  | Обоснование работ  | Сумма затрат, руб. |
|--------------------|---|--|--------------------|
| Монтаж системы ЭХЗ |   |  |                    |
|                    | кабельных линий электропередачи взамен демонтированного участка воздушных линий | готовых траншеях без покрытий;<br>2. Прокладка опознавательной (сигнальной) ленты ЛСГ200.  |                    |
| 3.                 | Прокладка в траншеях кабеля системы катодной защиты                             | 1. Прокладка кабелей ВБбШв 2х25 мм <sup>2</sup> , ВБбШв 2х6 мм <sup>2</sup> в готовых траншеях без покрытий;<br>2. Прокладка кабеля ВБбШв 4х1,5 мм <sup>2</sup> в готовых траншеях без покрытий. | 240 764,3          |
| 4.                 | Отсыпка площадок под блок-боксы щебнем  | 1. Отсыпка площадки щебнем с послойным уплотнением;  | 412 783,38         |
| 5.                 | Монтаж площадки под блок-бокс 3,4х2,5 м   | 1. Гидроизоляция боковая обмазочная мастикой битумно-полимерной в 2 слоя поверхностей трубного фундамента;<br>2. Монтаж площадок под блок-боксы с настилом и ограждением из листовой, рифленой,  | 838 561,88         |

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

| №                  | Наименование работ   | Обоснование работ   | Сумма затрат, руб. |
|--------------------|--|---|--------------------|
| Монтаж системы ЭХЗ |  |   |                    |
|                    |  | <p>просечной,<br/>прокатной стали;</p> <p>3. Монтаж лестниц прямолинейных с ограждением для площадок под блок-боксы;</p> <p>4. Огрунтовка металлических поверхностей;</p> <p>5. Окраска металлических огрунтованных поверхностей.</p> |                    |
| 6.                 | Монтаж оборудования СКЗ  | 1. Монтаж устройства катодной защиты высоковольтного УКЗВ с устройством защитного заземления.   | 27 767 538,72      |
| 7.                 | Трансформатор напряжения установленный на опоре                                | 1. Монтаж ранее демонтированного трансформатора (преобразователя).  | 78 052,64          |
| 8.                 | Установка стоек КИП, электродов сравнения, термитная приварка катодных выводов | 1. Установка стойки КИП с кабелями сечением: 2х6 мм <sup>2</sup> ;<br>2. Установка неполяризуемого  | 1 074 996          |

| №                  | Наименование работ                                   | Обоснование работ   | Сумма затрат, руб. |
|--------------------|--|---|--------------------|
| Монтаж системы ЭХЗ |  |   |                    |
|                    |  | электрода<br>сравнения;<br>3. Термитная<br>приварка и<br>изоляция катодного<br>вывода (кабеля). |                    |
| 9.                 | Засыпка траншей при устройстве кабельной канализации | 1. Засыпка траншей и котлованов.  | 62 277,91          |
| ИТОГО:             |  |   | 8 630 598,69       |

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

6. Общая сумма капитальных затрат составляет:

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{тр}} + A + K_{\text{мат}} + K_{\text{дм}} = 5\,577\,824 + 21\,914\,439 + 1\,095\,721,95 + 1\,497\,965 + 5\,400\,000 + 9\,218\,482,71 = 39\,704\,432 / 56\,703\,954,95$$

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

#### 5.1.2. Расчет эксплуатационных издержек

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

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

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

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

3. Фонд оплаты труда: численность производственного и инженерно-технического персонала принята в количестве 10 человек. Заработные платы представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Фонд оплаты труда

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 5. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 61   |

| № п/п | Должность            | Числ. | Заработная плата в месяц с районным коэффициентом, руб. | Заработная плата в год, руб. |
|-------|----------------------|-------|---|------------------------------|
| 1     | Мастер               | 2     | 80 000  | 1 920 000                    |
| 2     | Инженер-технолог     | 2     | 50 000  | 1 200 000                    |
| 3     | Монтер ЭХЗ 5 разряда | 4     | 45 000  | 2 160 000                    |
| 4     | Слесарь              | 2     | 40 000  | 2 400 000                    |
|       |                      |       | <i>Итого(З<sub>зар</sub>)</i>                           | 7 680 000                    |

4. Социальные отчисления указаны в таблице 26.

Таблица 26 – Социальные отчисления

| Фонд   | Размер взноса от зарплаты, % | Сумма, руб |
|--|------------------------------|------------|
| Пенсионный фонд  | 22                           | 1 689 600  |
| Фонд медицинского страхования  | 5,1                          | 391 680    |
| Фонд социального страхования   | 2,9                          | 222 720    |
| Страхование от несчастных случаев и производственных заболеваний (класс 1) | 0,2                          | 15 360     |
| <i>Итого (K<sub>соц</sub>)</i>   |                              | 2 319 360  |

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

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

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

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

9. Общая сумма эксплуатационных издержек составляет:

$$Z_{\text{экс.общ}} = Z_p + Z_{\text{обс}} + Z_{\text{зар}} + K_{\text{соц}} + Z_{\text{соц}} + Z_{\text{эл}} + Z_{\text{проч}} = 794\,088 + 1\,191\,132 + 7\,680\,000 + 2\,319\,360 + 10\,512 + 1\,985\,221 = 13\,980\,313 \text{ руб.}$$

## 5.2. Расчет экономической эффективности

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

Стоимость строительно-монтажных работ, труб и материалов по замене дефектных участков трубопровода диаметром [REDACTED] [REDACTED] определяется по формуле:

$$C_B = C_{\text{СМР}} + C_{\text{ТР}} + C_{\text{МАТ}} = 75\,000\,000 \text{ руб.}$$

где  $C_B$  [10<sup>6</sup> руб/км] – общая стоимость работ;  $C_{\text{СМР}} = 70 \cdot 10^6$  руб/км – стоимость строительно-монтажных работ;  $C_{\text{ТР}} = 3 \cdot 10^6$  руб/км – стоимость трубы;  $C_{\text{МАТ}} = 2 \cdot 10^6$  – стоимость материалов.

Годовой экономический эффект от внедрения нового оборудования:

$$Э_{\text{год}} = C_B - Z_{\text{экс.общ}} = 75\,000\,000 - 13\,980\,313 = 61\,019\,687 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

Результаты экономического обоснования сведены в таблицу 27.

Таблица 27 – Экономическое обоснование проекта

| Статьи затрат   | Затраты              | Единицы измерений |
|---|----------------------|-------------------|
| <b>Капитальные затраты</b>                                    |                      |                   |
| Стоимость нового оборудования                                 | 21 914 439           | руб.              |
| Транспортные расходы  | 1 095 721,95         | руб.              |
| Заработная плата работникам<br>(контрагентам)                 | 9 218 482,71         | руб.              |
| Материальные затраты  | 5 400 000            | руб.              |
| Проектирование  | 5 577 824            | руб.              |
| <b>Итого</b>  | <b>39 704 432</b>    | <b>руб.</b>       |
| <b>Эксплуатационные издержки</b>                              |                      |                   |
| Затраты на ремонт   | 794 088              | руб.              |
| Содержание и обслуживание приборов и<br>средств автоматизации | 1 191 132            | руб.              |
| Заработная плата работникам                                   | 7 680 000            | руб.              |
| Социальные отчисления   | 2 319 360            | руб.              |
| Затраты на электроэнергию                                     | 10 512               | руб.              |
| Прочие затраты  | 1 985 221            | руб.              |
| <b>Итого</b>  | <b>15 685 171,59</b> | <b>руб.</b>       |
| <b>Годовой экономический эффект</b>                           | <b>61 019 687</b>    | <b>руб.</b>       |
| <b>Срок окупаемости капитальных затрат</b>                    | <b>0,65</b>          | <b>год</b>        |
| <b>Коэффициент экономической<br/>эффективности</b>            | <b>1,53</b>          | <b>–</b>          |

### 5.3. Вывод к главе 5

Предложенная реконструкция средств электрохимической защиты от коррозии позволит обеспечивать надежную и безопасную эксплуатацию магистрального газопровода. Исходя из расчетов можно сделать вывод, что внедрение средств ЭХЗ намного эффективнее замены дефектных участков подземного газопровода, и при этом предприятие [REDACTED] [REDACTED] получит годовой экономический эффект в размере 61 019 687 руб.



## Глава 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ОТ КОРРОЗИИ

*Социальная ответственность* или корпоративная социальная ответственность (как морально-этический принцип) – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (ГОСТ Р ИСО 26000-2012) [26].

Рабочим местом является участок магистрального газопровода [REDACTED]. Исследуемый участок расположен в пределах Колывань-Томского региона. Климат района работ континентально-циклонический. При эксплуатации средств электрохимической защиты могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды на человека. Оказывается негативное воздействие на природу. Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Время работы средств электрохимической защиты осуществляется круглый год.

Целью раздела «Социальная ответственность» является анализ вредных и опасных факторов труда работников службу электрохимической защиты и разработка мер защиты от них. В разделе также рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

### 6.1. Профессиональная социальная безопасность

Для целостного представления об источниках вредностей и опасностей и всех основных выявленных вредных и опасных факторах на рабочем месте, ниже представлена таблица 26 «Основные элементы производственного

|   |             |                 |                |                  |
|---|-------------|-----------------|----------------|------------------|
| <i>Реконструкция средств электрохимической защиты магистрального газопровода</i>  |             |                 |                |                  |
| <i>Изм.</i>   | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i>      |
| <i>Разраб.</i>  |             | Данилов И.Е.    |                |                  |
| <i>Руковод.</i>   |             | Какушкин Ю.А.   |                |                  |
| <i>Консульт.</i>  |             |                 |                |                  |
| <i>Зав. Каф.</i>  |             | Рудаченко А.В.  |                |                  |
| Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии |             |                 |                |                  |
|   |             | <i>Лит.</i>     | <i>Лист</i>    | <i>Листов</i>    |
|   |             |                 | 65             | 120              |
|   |             |                 | НИ ТПУ<br>ТХНГ | ИПР<br>гр. 2БМ4А |

процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении реконструкции».

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится с использованием ГОСТ 12.0.003–74 (с измен. № 1, октябрь 1978 г., переиздание 1999 г.) [23]. Название вредных и опасных производственных факторов в работе соответствуют приведенной классификации. Определены название характерных видов работ и вредных производственных факторов (ОВПФ).

Таблица 26 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении реконструкции.

| Наименование работ   | видов | Ф а к т о р ы<br>(ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.) |                            | Нормативные документы          |
|--|-------|---|----------------------------|--------------------------------|
|  |       | Вредные   | Опасные                    |                                |
| 1  |       | 2   | 3                          | 4                              |
| 1. Монтаж, эксплуатация и ремонт автоматических станций катодной защиты и автоматических электродренажных установок; |       | 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны;               | Электрический ток;         | - ВРД 39-1.10-006-2000* [20]   |
|  |       | 2. Отклонение параметров климата;                         | Статическое электричество; | - ГОСТ Р 51164-98 [21]         |
|  |       | 3. Повреждения в результате контакта с насекомыми;        | Пожаро-взрывоопасность.    | - ГОСТ 9-602-2005 [22]         |
|  |       | 4. Повышенная загазованность.                             |                            | - ГОСТ 12.0.003-74 [23]        |
| 2. Проведение контрольных электроизмерений на подземных трубопроводах и источниках блуждающих токов в сложных        |       |   |                            | - ГОСТ Р 12.1.019-2009 [24]    |
|  |       |   |                            | - ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ [37];  |
|  |       |   |                            | - ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ [37]. |
|  |       |   |                            | ГОСТ 5542-2014 [38]            |
|  |       |   |                            | ОСТ 51-45-76 [39]              |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>коррозионных условиях;</p> <p>3. Определение степени коррозионной активности грунта;</p> <p>4. Проверка изоляционных покрытий трубопровода визуальным и инструментальными методами.</p> |  |  |  |
|--|--|--|--|

*Примечание: Пожароопасность описана в п. 4 как ЧС.*

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

Персонал службы электрохимической защиты магистрального газопровода подвержены воздействию вредных факторов:

##### 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Рациональное производственное освещение имеет большое значение для создания благоприятных условий труда на предприятиях. Неудовлетворительное освещение затрудняет работу, снижает производительность труда, приводит к заболеваниям органов зрения и несчастным случаям. Световое излучение оказывает воздействие на органы зрения и весь организм, изменяя частоту пульса, нарушая процессы обмена и нервно-психическое состояние. Хорошие световые условия оказывают благоприятное психофизическое воздействие на работоспособность и активность человека, на качество работы. Отсутствие или недостаток естественного освещения в рабочем помещении классифицируют как вредный производственный фактор.

Ниже приведена таблица норм искусственной освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях (таблица 2).

Таблица 27 - Нормы искусственной освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях (СНиП 23-05-95) [36].

| Разряд и подразряд зрительной работы | Нормальная освещенность в люксах для систем освещения, лк |                     |                        |                     |
|--------------------------------------|---|---------------------|------------------------|---------------------|
|                                      | комбинированного  |                     | общего                 |                     |
|                                      | газоразрядными лампами                                    | лампами накаливания | газоразрядными лампами | лампами накаливания |
| Ia                                   | 5000  | 4000                | 1500                   | 300                 |
| Iб                                   | 4000  | 3000                | 1250                   | 300                 |
| Iв                                   | 3000  | 2000                | 2000                   | 300                 |
| Iг                                   | 1500  | 1250                | 400                    | 300                 |
| IIa                                  | 4000  | 3000                | 1250                   | 300                 |
| IIб                                  | 3000  | 2500                | 750                    | 300                 |
| IIв                                  | 2000  | 1500                | 500                    | 300                 |
| IIг                                  | 1000  | 750                 | 300                    | 200                 |
| IIIa                                 | 2000  | 1500                | 500                    | 300                 |
| IIIб                                 | 1000  | 750                 | 300                    | 200                 |
| IIIв                                 | 750   | 600                 | 300                    | 200                 |
| IIIг                                 | 400   | 400                 | 200                    | 150                 |
| IVa                                  | 750   | 600                 | 300                    | 200                 |
| IVб                                  | 500   | 500                 | 200                    | 150                 |
| IVв                                  | 400   | 400                 | 150                    | 100                 |
| IVг                                  | 300   | 300                 | 150                    | 100                 |

Применение только местного освещения в производственных помещениях запрещено. Рекомендуется комбинированное освещение согласно СНиП 23-05-95 (таблица 28) [26].

Таблица 29 - Рекомендуемые источники света при системе комбинированного освещения

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

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

**Примечания**

1 Для помещений без естественного света при работе с невысокими требованиями к цветоразличению указанный в таблицах диапазон цветовой температуры следует ограничить пределами 3500-5000 °К при уровнях освещенности более 300 лк

НЛВД – натриевые газоразрядные лампы;

ЛБ (ЛХБ) – люминесцентные лампы;

МГЛ – металлогалогенная лампа;

ДРЛ – ртутная газоразрядная лампа.

## 2. Отклонение показателей климата на открытом воздухе.

Работы, выполняемые на объекте происходят на открытых площадках.

Климат на территории Томской области континентально-циклонический.

Средняя температура зимой  $-18,1^{\circ}\text{C}$ , средняя температура летом  $+18,7^{\circ}\text{C}$ .

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

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

- костюм от защиты от воды из синтетической ткани с пленочным покрытием;
- комбинезон для защиты от токсичных веществ и пыли из нетканых материалов;
- костюм из смешанных тканей для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий с маслостойкой пропиткой или костюм из хлопчатобумажной ткани с огнезащитной

- пропиткой или костюм из огнестойких тканей на основе смеси мета- и параамидных волокон;
- костюм противонцефалитный;
- футболка;
- ботинки кожаные с жестким подноском или сапоги кожаные с жестким подноском;
- сапоги резиновые с жестким подноском или сапоги болотные с жестким подноском;
- нарукавники из полимерных материалов;
- перчатки с полимерным покрытием;
- перчатки резиновые или из полимерных материалов;
- каска защитная;
- подшлемник под каску;
- очки защитные;
- маска или полумаска со сменными фильтрами.

На наружных работах зимой дополнительно:

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

### 3. Повреждения в результате контакта с насекомыми

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 70   |

Тема укусов насекомых особо актуальна в весенне-летний период. С появлением первой травы еще до разворачивания листьев активизируется клещи. Опасность этих насекомых заключается в том, что они являются переносчиками таких опасных заболеваний, как клещевой энцефалит, боррелиоз, гемморагическая лихорадка, бабезиоз и т.д. После укуса такие симптомы, как слабость, головная боль, тошнота, могут завершиться тяжелыми поражениями центральной нервной системы, менингитными очагами, вплоть до инвалидизации пострадавшего [28].

Стоит обратить пристальное внимание на следующие факторы:

- наличие места укуса (следа укуса) или его отсутствие – не является основополагающим, т.к. согласно п. 2.2. и 2.3.5. СП 3.1.3.2352-08 «Профилактика клещевого энцефалита» [28].

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

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

Перечень работ, выполнение которых связано с высоким риском заболевания инфекционными болезнями, требующих обязательного проведения профилактических прививок регламентируется Постановлением Правительства РФ от 15.07.1999 N825 [28].

#### 4. Повышенная загазованность.

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

Предельно допустимая концентрация природного газа в воздухе составляет 300 мг/м<sup>3</sup> согласно ГОСТ 5542-2014 [38].

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 71   |

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

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

Отбор проб воздуха к датчику газоанализатора следует производить на рабочих местах помещений и открытых площадках на наиболее опасных и возможных (в смысле выделения газов) уровнях. Необходимо устанавливать не менее 1 датчика на каждые 100 м<sup>2</sup> площади помещения согласно ОСТ 51-45-76 [39].

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

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

##### 1. Электрический ток.

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

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

Во избежание поражения электрическим током работник службы электрохимической защиты должен придерживаться правил Постановления,

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 72   |



утвержденных Министерством труда и социального развития Российской Федерации от 12 мая 2003 г. №27 [29].

Требования охраны труда при эксплуатации установок электрохимической защиты от коррозии и электрических измерениях на газопроводах [21]:

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

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

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

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

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

- при проведении электрических измерений на контрольных пунктах газопроводов, расположенных на путях трамвая и электрифицированной железной дороги, на тяговых подстанциях и дренажных установках, персоналу запрещается: - прикасаться непосредственно или через другие предметы к

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 73   |

контактным проводам или оборудованию, находящемуся под напряжением; - приближаться на расстояние менее 2 м к контактной сети, не огражденным проводникам или частям контактной сети; - прикасаться к оборванным проводам контактной сети и находящимся на них посторонним предметам; - подниматься на опоры контактной сети.

Требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации регламентируются ГОСТ Р 12.1.019-2009 [24].

## 2. Статическое электричество.

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

Для защиты от статического электричества вся металлическая аппаратура, резервуары, газо- и конденсаторопроводы, насосы и т.д. должны быть заземлены. Заземление проверяется периодически один раз в год, а также после ремонтных работ [36].

Средства защиты работников делятся на средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты [37].

Средства коллективной защиты от статического электричества по принципу действия делятся на следующие виды [37]:

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

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения делятся на [24]:

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 74   |

- специальную одежду антиэлектростатическую;
- специальную обувь антиэлектростатическую;
- предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- средства защиты рук антиэлектростатические.

## 6.2. Экологическая безопасность

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

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

В таблице 30 представлены источники негативного воздействия и природоохранные мероприятия

Таблица 30 – Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при выполнении реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода

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

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
| Земля и земельные ресурсы | Загрязнение почвы нефтепродуктами, химреагентами и др.                                   | Сооружение поддонов, отсыпка площадок для стоянки техники. Вывоз, уничтожение и захоронение остатков нефтепродуктов, химреагентов, мусора, загрязненной земли и т.д. |
|                           | Создание выемок и неровностей, усиление эрозионной опасности. Уничтожение растительности | Засыпка выемок, горных выработок   |
| Лес и лесные ресурсы      | Повреждение почвенного покрова   | Мероприятия по охране почв   |

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

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

отходов производства с их последующей утилизацией или обезвреживанием.

По окончании реконструкции земли подлежат рекультивации, которая заключается в приведении земель в состояние, пригодное для их дальнейшего использования по назначению. Рекультивация земель является одной из важнейших составляющих комплекса мероприятий по восстановлению природных ресурсов [8].

### 6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Магистральный газопровод [REDACTED] является опасным производственным объектом, т.к. по нему транспортируется опасное вещество - газ природный в количествах больше, чем пороговые. Собственно объект строительства - система электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. не относится к опасным производственным объектам [18].

Опасных веществ в соответствии с таблицами №1 и №2 приложения 2 Федерального Закона № 116-ФЗ на объекте строительства нет [18].

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

В районе реконструкции средств ЭХЗ возможно возникновение чрезвычайной ситуации техногенного характера – пожары (взрывы). Пожарная безопасность проектируемых объектов обеспечивается строительными конструкциями и применяемыми материалами необходимой огнестойкости. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров. Общие требования пожарной безопасности изложены в Федеральном законе от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. от 13.07.2015). [19].

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 77   |

Мероприятия по пожарной безопасности разделяются на четыре основные группы: [19]

- 1) предупреждение пожаров, т.е. исключение причин их возникновения;
- 2) ограничение сферы распространения огня;
- 3) обеспечение успешной эвакуации людей и материальных ценностей из очага пожара;
- 4) создание условий для эффективного тушения пожара.

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

Применяемое оборудование по пожаро- и взрывозащите в службе ЭХЗ на станциях катодной защиты соответствует категории- Д [39].

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

#### **6.4. Законодательное регулирование проектных решений**

Эффективность любого производственного процесса будет тем выше, чем рациональнее будут рассчитаны необходимые затраты времени на производство единицы продукции (выполнение работы) либо трудоемкости выполняемых работ. Практически в этом и состоит сущность нормирования труда. Правовые нормы, регулирующие вопросы, связанные с нормированием труда, собраны в главе 22 Трудового Кодекса Российской Федерации (ст. 159-163). Так, ст. 159 ТК РФ гарантирует работнику содействие государства в планомерном внедрении систем организации нормирования труда [30, с.250].

Учитывая, требования статей ТК РФ [29], регламентирующих нормирование труда, рассмотрим решение данных вопросов в [REDACTED].

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 78   |

Предприятие является одним из ведущих в отрасли. В условиях возрастающей конкуренции на энергетических рынках осуществление мероприятий по снижению затрат на производство является одной из главных задач, стоящей перед [REDACTED]. Одним из важных направлений по реализации этой задачи стало рациональное использование трудовых ресурсов, которое может быть обеспечено, в первую очередь, за счет повышения уровня организации и качества нормирования труда, а это возможно только при создании и внедрении Единой системы управления нормированием труда в [REDACTED] (далее – ЕСУНТ) [30]. Цель Единой системы управления нормированием труда в [REDACTED] (далее – ЕСУНТ) – обеспечение повышения эффективности хозяйственной деятельности Общества на основе совершенствования организации нормирования труда и рационального использования рабочей силы в организациях системы [REDACTED]. Нормирование труда, являясь важнейшим элементом в организации производства, дает возможность определить нормативные и фактические затраты труда и материально-финансовые затраты на единицу продукции, а, следовательно, влияет на повышение эффективности производства [31, с. 26].

[REDACTED] действует Единая система управления охраной труда и промышленной безопасностью, которая устанавливает единый порядок организации и проведения работы по охране труда и промышленной безопасности.

Совершенствование Единой системы управления охраной труда и промышленной безопасностью, функционирующей [REDACTED] позволяет обеспечивать высокий уровень безопасности труда работников [18].

Единая система управления охраной труда ОАО "Газпром" (ЕСУОТ ПБ) устанавливает единые требования к организации безопасности труда в Обществе и регламентирует:

- единый для всех организаций [REDACTED] независимо от форм собственности, порядок управления охраной труда и промышленной

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 79   |

безопасностью в соответствии с действующим законодательством, достижениями науки и техники и отраслевыми особенностями;

- создание здоровых и безопасных условий труда, снижение производственного травматизма и профессиональных заболеваний;

- совершенствование структуры управления охраной труда в [REDACTED] [REDACTED] в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации по охране труда и нормативными актами государственных органов надзора и контроля;

Генеральной концепцией [REDACTED] и его организаций при всех видах деятельности является приоритет охраны труда и промышленной безопасности. Никакие соображения экономического, технического или иного плана не могут быть приняты во внимание, если они противоречат интересам обеспечения безопасности работающих на производстве, населения и окружающей среды.

### 6.5. Выводы к главе 6

Данная глава посвящена анализу вредных и опасных факторов труда работников службы по защите подземного трубопровода от коррозии и разработке мер защиты от них. Также рассмотрены вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды и даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда. Помимо этого, приведены особенности законодательного регулирования проектных решений, а также меры по защите населения и территории предприятия от чрезвычайных ситуаций.

|      |      |          |         |      |   |      |
|------|------|----------|---------|------|---|------|
|      |      |          |         |      | Глава 6. Социальная ответственность при реконструкции средств электрохимической защиты магистрального газопровода от коррозии | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |   | 80   |



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе «Реконструкция средств электрохимической защиты магистральных газопроводов», представлена характеристика объекта реконструкции, дано описание существующей электрохимической защиты магистрального газопровода, проведен анализ комплексных электрометрических обследований магистрального газопровода в 2008 году. На основании представленных данных в соответствии с СТО Газпром 9.2-003-2009 «Защита от коррозии. Проектирование электрохимической защиты подземных сооружений» проведен расчет систем и оборудования электрохимической защиты магистрального газопровода [REDACTED]. В соответствии с «Реестром оборудования электрохимической защиты, разрешенного к применению в [REDACTED] применено новейшее оборудование систем ЭХЗ, которое позволит ежеминутно отслеживать состояние работоспособности средств ЭХЗ и защищенности магистрального газопровода в результате применения телемеханизации средств электрохимической защиты МГ (основные решения представлены в работе).

|             |             |                 |                |             |  |  |             |               |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--|--|-------------|---------------|
|             |             |                 |                |             | Развитие статистического подхода к обработке данных мониторинга свойств газового конденсата на установке комплексной подготовки газа ОАО «Сахатранснефтегаз» |  |             |               |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |  |  |             |               |
| Разраб.     |             | Николаев Е.В.   |                |             | Введение   | <i>Лит.</i>                            | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| Руковод.    |             | Зарубин А.Г.    |                |             |  |  | 81          | 120           |
| Консульт.   |             |                 |                |             |  | НИ ТПУ      ИПР<br>ТХНГ      гр. 2БМЗГ |             |               |
| Зав. Каф.   |             | Рудаченко А.В.  |                |             |  |  |             |               |

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Volcan Cicek. Cathodic protection: Industrial solutions for protecting against corrosion. Wiley, 2013. – 360p;
2. Zaki Ahmad. Principles of corrosion engineering and and corrosion control. Butterworth-Heinemann, 2006. – 672p
3. Богатырева М.Р., Ганцева Д.В. Правовое регулирование нормирования труда на промышленном предприятии на примере ООО «Газпром добыча Уренгой». Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития, 2013, №9, 84-89 с.
4. Борисов А.Б. Комментарий к Трудовому Кодексу Российской Федерации. – М.: Книжный мир, 2013. – 720 с.
5. Вайсбурд В.А. Экономика труда. – М.: Омега, 2011. – 375 с.
6. Гаррис Н., Аскарлов Г. Активизация коррозионных процессов н магистральных газопроводах большого диаметра при импульсном изменении температуры. Уфимский нефтяной государственный технический университет, ООО «Баштрансгаз». Нефтегазовое дело, 2006. – 13 с.;
7. Громенко М.Е. Разработка системы коррозионного мониторинга объектов ООО «Газпром трансгаз Томск». Сборник статей: Материалы VII научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Современная газотранспортная отрасль: перспективы, проблемы, решения. 2 тома. Том I. – Томск: Графика, 2015. – 484 с.;
8. Мустафин Ф.М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями. Уфимский государственный нефтяной технический университет. Нефтегазовое дело 2003. – 24 с.;
9. Никитенко Е.А., Эдельман Я.М. Монтер по защите подземных трубопроводов от коррозии: учебник для профтехобразования. – Москва.: Недра, 1981. – 256 с.;

10. Рахманкулов Д.Л., Кузнецов М.В., Гафаров Н.А., Зенцов В.Н. Электрохимическая защита от коррозии в примерах и расчетах. – Уфа: Реактив, 2003. – 160 с.;
11. Титова В.И., Дабахова Е.В. Охрана окружающей среды: учеб.пособие – Нижний Новгород, 2003. – 48 с.;
12. Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей: учебное пособие – Москва: СтройиздатЮ 2004. – 320 с.;
13. Хижняков В.И. Коррозионное растрескивание напряженно-деформированных трубопроводов при транспорте нефти и газа. Журнал: Известия Томского политехнического университета, выпуск №3. Том 319, 2011. – 84-89 с.;
14. СТО Газпром 9.2-005-2009 Критерии защищенности от коррозии для участков газопроводов, проложенных в высокоомных (скальных, песчаных, многолетнемерзлых) грунтах. – Москва: Издательство стандартов, 2010;
15. СТО Газпром 9.2-003-2009 Проектирование электрохимической защиты подземных трубопроводов. Москва: Издательство стандартов, 2009;
16. СТО Газпром 9.2-002-2009 Защита от коррозии. Электрохимическая защита от коррозии. Основные требования. Москва: Издательство стандартов, 2009;
17. СТО Газпром 9.0-001-2009 Защита от коррозии. Основные положения. Москва: Издательство стандартов, 2009;
18. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов";
19. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности";
20. ВРД 39-1.10-006-2000\*. Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов;

21. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии;
22. ГОСТ 9-602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии;
23. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
24. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатуры видов защиты;
25. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности;
26. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение;
27. СП 3.1.3.2352-08 Профилактика клещевого вирусного энцефалита;
28. Постановление Правительства РФ от 15 июля 1999 г. N 825 "Об утверждении перечня работ, выполнение которых связано с высоким риском заболевания инфекционными болезнями и требует обязательного проведения профилактических прививок" (с изменениями и дополнениями);
29. Постановление Минтруда РФ от 12.05.2003 N 27 "Об утверждении Межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации газового хозяйства организаций" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.06.2003 N 4726).
30. ЕСУНТ. Единая система управления нормирование труда в ОАО «Газпром»;
31. ЕСУОТ. Единая система управления охраной труда в ОАО «Газпром»;
32. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в редакции от 06.04.2016 г.);
33. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015);
34. РД 153-39.4-056-00 Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов;

35. ПРИКАЗ от 9 декабря 2009 г. №970н «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам нефтяной промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением»;
36. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление;
37. ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. 1984.
38. ГОСТ 5542-2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М: Стандартинформ, 2015.
39. ОСТ 51-45-76. Газодобывающие предприятия. Эксплуатация установок по сбору и подготовке газа к транспорту. Требования безопасности. (Введен в действие приказом Министерства газовой промышленности от 15 декабря 1975 г. N 143).

Приложение А  
(обязательное)

Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке

Глава 1.

Литературный обзор

Студент:

| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|---------------|-------------------------|----------------|-------------|
| 2БМ4А         | Данилов Иван Евгеньевич |                |             |

Консультант кафедры ТХНГ:

| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                  | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент каф. ТХНГ | Какушкин Юрий Александрович | к.х.н.                        |                |             |

Консультант-лингвист кафедры ИЯПР:

| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>             | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|------------------|------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент каф. ИЯПР | Уткина Анна Николаевна | к.ф.н.                        |                |             |

## Chapter 1. Introduction to corrosion

### 1.1. Historical background

The word corrosion is as old as the earth, but it has been known by different names. Corrosion is known commonly as rust, an undesirable phenomenon which destroys the luster and beauty of objects and shortens their life. A Roman philosopher, Pliny (AD 23-79) wrote about the destruction of iron in his essay 'Ferrum Corrupter.' Corrosion since ancient times has affected not only the quality of daily lives of people, but also their technical progress. There is a historical record of observation of corrosion by several writers, philosophers and scientists, but there was little curiosity regarding the causes and mechanism of corrosion until Robert Boyle wrote his 'Mechanical Origin of Corrosiveness/ Philosophers, writers and scientists observed corrosion and mentioned it in their writings:

- Pliny the elder (AD 23-79) wrote about spoiled iron.
- Herodotus (fifth century BC) suggested the use of tin for protection of iron.
- Lomonosov (1743-1756)
- Thenard (1819) suggested that corrosion is an electrochemical phenomenon.
- Hall (1829) established that iron does not rust in the absence of oxygen.
- Davy (1824) proposed a method for sacrificial protection of iron by zinc.
- De la Rive (1830) suggested the existence of microcells on the surface of zinc.

The most important contributions were later made by Faraday (1791-1867) who established a quantitative relationship between chemical action and electric current. Faraday's first and second laws are the basis for calculation of corrosion rates of metals. Ideas on corrosion control started to be generated at the beginning of nineteenth century. Whitney (1903) provided a scientific basis for corrosion control based on electrochemical observation. As early as in eighteenth century it was observed that iron corrodes rapidly in dilute nitric acid but remains unattached in concentrated nitric acid. Schönbein in 1836 showed that iron could be made passive. It was left to U. R. Evans to provide a modern understanding of the causes and control of corrosion based on his classical electrochemical theory in 1923. In recent

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 87   |

years, corrosion science and engineering has become an integral part of engineering education globally.

## 1.2. Definition

Corrosion is a natural and costly process of destruction like earthquakes, tornados, floods and volcanic eruptions, one major difference. Whereas we can be only a silent spectator to the above processes of destruction, corrosion can be prevented or at least controlled. Several definitions of corrosion have been given and some of them are reproduced below:

(A) Corrosion is the surface wastage that occurs when metals are exposed to reactive environments.

(B) Corrosion is the result of interaction between a metal and environments which results in its gradual destruction.

(C) Corrosion is the deterioration of materials as a result of It reaction with its environment (Fontana).

(F) Corrosion is the destructive attack of a metal by chemical or electron hemic al reaction with the environment.

Despite different definitions, it can be observed that corrosion is basically the result of interaction between materials and their environment. Up to the 1960s the term corrosion was restricted only to metals and their alloys and it did not incorporate ceramics, polymers, composites and semiconductors in its regime. The term corrosion now encompasses all types of natural and man-made materials including biomaterials and nanomaterials, and it is not confined to metals and alloys alone. The scope of corrosion is consistent with the revolutionary changes in materials development witnessed in recent years.

### Corrosive environment

Corrosion cannot be defined without a reference to environment. All environments are corrosive to some degree. Following is the list of typical corrosive environments:

- 1) Air and humidity.
- 2) Fresh, distilled, salt and marine water.



- 3) Natural, urban, marine and industrial atmospheres.
- 4) Steam and gases, like chlorine.
- 5) Ammonia. (6) Hydrogen sulfide.
- 7) Sulfur dioxide and oxides of nitrogen.
- 8) Fuel gases.
- 9) Acids.
- 10) Alkalies.
- 11) Soils.

It may, therefore, be observed that corrosion is a potent force which destroys economy, depletes resources and causes costly and untimely failures of plants, equipment and components.

### **1.3. Consequences of corrosion**

Some important consequences of corrosion are summarized below:

- Plant shutdowns. Shutdown of nuclear plants, process plants, power plants and refineries may cause severe problems to industry and consumers.
- Loss of products, leaking containers, storage tanks, water and oil transportation lines and fuel tanks cause significant loss of product and may generate severe accidents and hazards. It is well-known that at least 25% of water is lost by leakage.
- Loss of efficiency. Insulation of heat exchanger tubing's and pipelines by corrosion products reduces heat transfer and piping capacity.
- Contamination. Corrosion products may contaminate chemicals, pharmaceuticals, dyes, packaged goods, etc. with dire consequences to the consumers.
- Nuclear hazards. The Chernobyl disaster is a continuing example of transport of radioactive corrosion products in water, fatal to human, animal and biological life.

The magnitude of corrosion would depend upon the sensitivity of a particular metal or alloy to a specific environment. For instance, copper corrodes rapidly in the

|             |             |                 |                |             |   |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   | 89          |

presence of ammonia and it is a serious problem in agricultural areas. Many historical statues made from bronze have been destroyed by ammonia released from fertilizers. Environmental conditioning offers one method of controlling corrosion, such as the use of inhibitors and oil transmission pipelines.

#### **1.4. Cost of corrosion**

In a study of corrosion cost conducted jointly by C. C. Technologies Inc., USA Federal Highway Agencies (FHWA), USA and National Association of Corrosion Engineers, the direct corrosion cost was estimated to be around 276 billion US dollars, approximately 3.1% of the national gross domestic product. Based on an extensive survey conducted by Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, USA and National Institute of Standards and Technology (NIST), in 1975, the cost was estimated to be 82 billion US dollars, which would have exceeded 350 billion US dollars in view of price inflation over the last twenty-five years. Because of the long time involved in conducting cost structure, it is not possible to update the information every year. However, both studies show that corrosion costs are staggering and a figure of about 350 billion US dollars appears to be a reasonable estimate for another two to three years. At least 35% of the above amount could have been saved by taking appropriate corrosion control measures. In UK, the corrosion cost is estimated to be 4-5% of the GNP. In Japan, the cost of corrosion is estimated to be 5258 trillion Yen per year. For most industrialized nations, the average corrosion cost is 3.5-4.5% of the GNP. Below are some startling figures of a corrosion losses:

- The corrosion cost of gas and liquid transmission pipelines in USA exceeds seven billion s US dollars. The figure for the major oil producing countries in the Gulf region are not known, however the cost expected to be very high because of highly corrosive environment in the region.
- The corrosion-free life of automobiles in the coastal regions of Arabian Gulf is about six months only.
- Nearly 95% of concrete damage in the Arabian Gulf coastal region is caused by reinforcement corrosion and consequent spalling of concrete.

|             |             |                 |                |             |   |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   | 90          |

- It is estimated that 10% of all aircraft maintenance in USA is spent on corrosion remediation.
- Major annual corrosion losses to the tune of £350 million in transport, £280 million in marine, £250 million in buildings and construction and £ 180 million in oil and chemical industries, have been reported in UK. These are uncorrected 1971 figures.
- About \$120 billion is spent on maintenance of aging and deteriorating infrastructures in USA.
- Automotive corrosion costs 23.4 billion US dollars annually in USA.
- Every new born baby in the world now has an annual corrosion debt of \$40.

### **1.6. Breakdown of Spending on Corrosion**

The petroleum, chemical, petrochemical, construction, manufacturing, pulp and paper and transportation (railroad, automotive and aerospace) industries are the largest contributors to corrosion expenditure. The cost of corrosion differs from country to country. For instance, in USA, the transportation sector is the largest sector contributing to corrosion after public utilities, whereas in the oil producing countries, such as the Arabian Gulf countries, petroleumof and petrochemical industries are the largest contributor to corrosion expenditure. The high-way sector in USA alone includes 4 000000 miles of highways, 583 000 bridges, which need corrosion remediation maintenance. The annual direct corrosion cost estimated to be 8.3 billion US dollars. The direct corrosion of transportation sector is estimated to be 29,7 billion US dollars. It includes the corrosion cost of aircraft, hazardous materials transport, motor vehicles, rail e road car and ships. In the oil sector, drilling poses severe hazards to equipment in the form of stress corrosion cracking, hydrogen induced I cracking and hydrogen sulfide cracking. In USA alone this sector costs more than 12 billion US dollars. The cost is very staggering in major oil producing countries, like Saudi Arabia, Iran, t Iraq and Kuwait. The direct cost of corrosion to aircraft industry exceeds 2.2 billion US dollars.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 91   |

Corrosion has a serious impact on defense r equipment. In the Gulf War, a serious problem of rotor blade damage in helicopter was caused by the desert sand. The thickness of the blade was reduced to 2-3 mm in some instances. The desert erosion-corrosion offered a new challenge to corrosion scientists and engineers, I he storage of defense equipment is a serious matter for countries with corrosive environments such as Saudi Arabia, Malaysia and Southeast Asia. Humidity is the biggest killer of defense hardware, Storage of defense equipment demands minimum humidity, scanty rainfall, alkaline soil, no dust storms, no marine environment and minimal dust particles.

From the above summary, it is observed that corrosion exists everywhere and there is not industry or home where if doe not penetrate and it demands a state of readme for engineers and scientists to combat this problem.

## 2. Basic concepts in corrosion

For corrosion to take place, the formation of a corrosion cell is essential. A corrosion cell is essentially comprised of the following four components.

- Anode
- Cathode
- Electrolyte
- Metallic path.

**Anode:** One of the two dissimilar metal electrodes in an electrolytic cell, represented as the negative terminal of the cell. Electrons are released at the anode, which is the more reactive metal. Electrons are insoluble in aqueous solutions and they only move, through the wire connection into the cathode. For example, in a battery, zinc casing acts as the anode. Also in a Daniel cell, zinc is the anode as oxidation occurs on it and electrons are released (Figure 1). Corrosion nomenclature is the opposite of electroplating nomenclature, where an anode is positive and the cathode is negative.

**Cathode:** One of the two electrodes in an electrolytic cell represented as a positive terminal of a cell. Reduction takes place at the cathode and electrons are

|             |             |                 |                |             |   |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|---|-------------|
|             |             |                 |                |             | <i>Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |   | 92          |

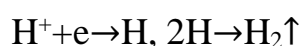
consumed. Example, carbon electrode in a battery, copper electrode in a Daniel cell. Figure 1 shows the reduction of hydrogen ion. The electron is always a reducing agent.

**Electrolyte:** It is the electrically conductive solution (e.g. salt solution) that must be present for corrosion to occur. Note that pure water is a bad conductor of electricity. Positive electricity passes from anode to cathode through the electrolyte as cations, e.g.  $Zn^{++}$  ions dissolve from a zinc anode and thus carry positive current away from it, through the aqueous electrolyte.

**Metallic Path:** The two electrodes are connected externally by a metallic conductor. In the metallic conductor, 'conventional' current flows from (+) to (-) which is really electrons flowing from (-) to (+). Metals provide a path for the flow of conventional current which is actually passage of electrons in the opposite direction.

**Current Flow:** Conventional current flows from anode (-) to cathode (+) as  $Zn^{++}$  ions through the solution. The current is carried by these positive charged ions. The circuit is completed by passage of electrons from the anode (-) to the cathode (+) through the external metallic wire circuit (outer current).

**Electron Flow:**



Although the anode (e.g. Fe or Zn) is the most negative of the two metals in the cell this reaction does not occur there because its surface is emanating  $Fe^{++}$  ions which repel  $H^+$  ions from discharging there. The circuit is completed by negative ions (-) which migrate from the cathode (+) through the electrolyte, towards the anode (-).

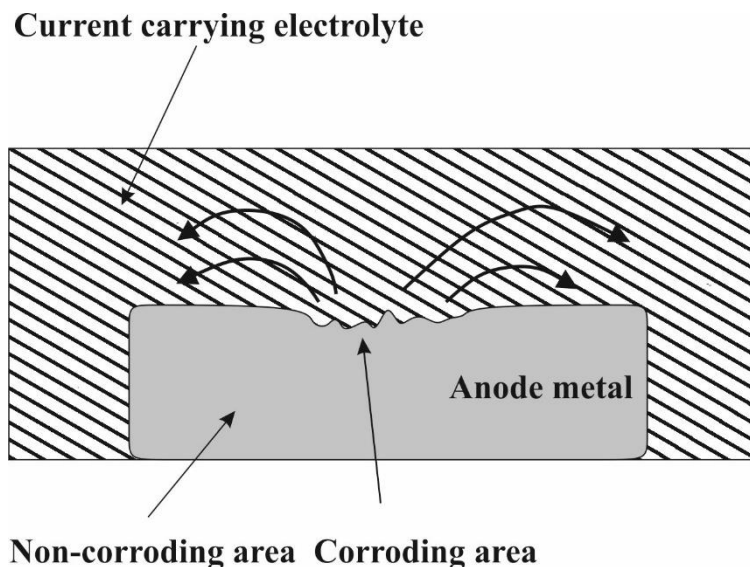
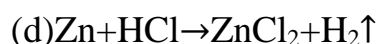
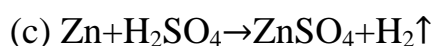
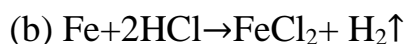
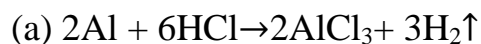


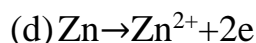
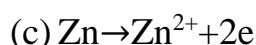
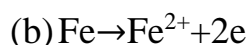
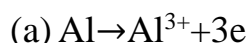
Figure 1. Corrosion cell in action

## 2.1. Anodic and cathodic reactions

The anode is the area where metal is lost. At the anode, the reactions which take place are oxidation reactions. It represents the entry of metal ion into the solution, by dissolution, hydration or by complex formation. It also includes precipitation of metal ions at the metal surface. For example,  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ . Ferrous hydroxide or rust formation on steel surface is a common example. Some more examples are:



The reaction (a-d) involve the release of hydrogen gas. All the reaction shown above involve oxidation to a higher valence state. Reactions (a-d) can be written in terms of electron transfer as below:



Anodic reaction in terms of electron transfer is written as:



## 2.2. Anodic reactions characteristics

- 1) Oxidation of metal to an ion with a charge;
- 2) Release of electrons;
- 3) Shift to a higher valence state.

The process of oxidation in most metals and alloys represents corrosion. Hence, if oxidation is stopped, corrosion is stopped.

## 2.3. Cathodic reactions characteristics

Cathodic reactions are reduction reactions which occur at the cathode. Electrons released by the anodic reactions are consumed at the cathode surface. Unlike an anodic reaction, there is a decrease in the valence state. The most common cathodic reactions in terms of electrons transfer are given below:

- (a)  $2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2$  (in acid solution);
- (b)  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  (in acid solution);
- (c)  $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$  (in neutral and alkaline solutions);
- (d)  $\text{Fe}^{3+} + \text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$  (metal ion reduction in ferric salt solutions);
- (e) Metal deposition:  $\text{M}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{M}$ ,  $\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Ni}$ ,  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$ ;
- (f) Bacterial reduction of sulfate:  $\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8\text{e} \rightarrow \text{S}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ .

## 2.4. Types of Corrosion Cells

There are several types of corrosion cells:

- 1) Galvanic cells
- 2) Concentration cells
- 3) Electrolytic cell
- 4) Differential temperature cells.

### 2.4.1. Galvanic Cells

The galvanic cell may have an anode or cathode of dissimilar metals in an electrolyte or the same metal in dissimilar conditions in a common electrolyte. For example, steel and copper electrodes immersed in an electrolyte (Figure 2), represents a galvanic cell. The more noble metal copper acts as the cathode and the

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 95   |

more active iron acts as an anode. Current flows from iron anode to copper cathode in the electrolyte.

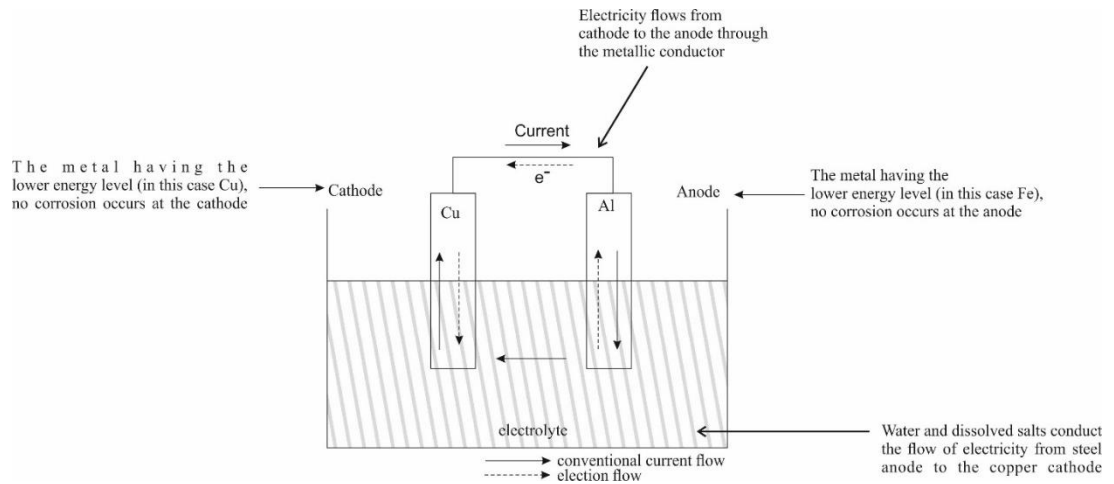


Figure 2. Steel and copper electrodes immersed in an electrolyte

### 2.4.2. Concentration cells

This is similar to galvanic cells except with an anode and cathode of the same metal in a heterogeneous electrolyte. Consider the corrosion of a pipe in the soil. Concentration cells may be set up by.

- (a) Variation in the amount of oxygen in soils.
- (b) Differences in moisture content of soils.
- (c) Differences in compositions of the soil.

Concentration cells are commonly observed in underground corroding structures, such as buried pipes or tanks (Figure 3). The inequality of dissolved chemicals causes a potential difference which establishes anode in the more concentrated region and cathode in the less concentrated region.

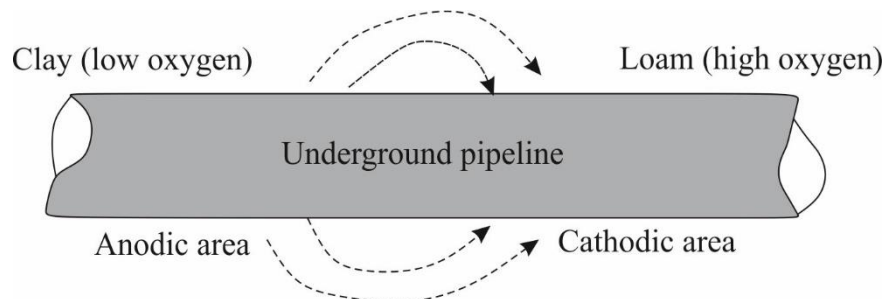


Figure 3. Concentration cell formation in an underground pipeline

### 2.4.3 Electrolytic cell



This type of cell is formed when an external current is introduced into the system. It may consist of all the basic components of galvanic cells and concentration cells plus an external source of electrical energy. Notice that anode has a (+) polarity and cathode has (-) polarity in an electrolytic cell, where external current is applied. This is the type of cell set up for electrically protecting the structures by cathodic protection. The polarity of an electrolytic cell is opposite to that in a galvanic (corrosion) cell (Figure 4).

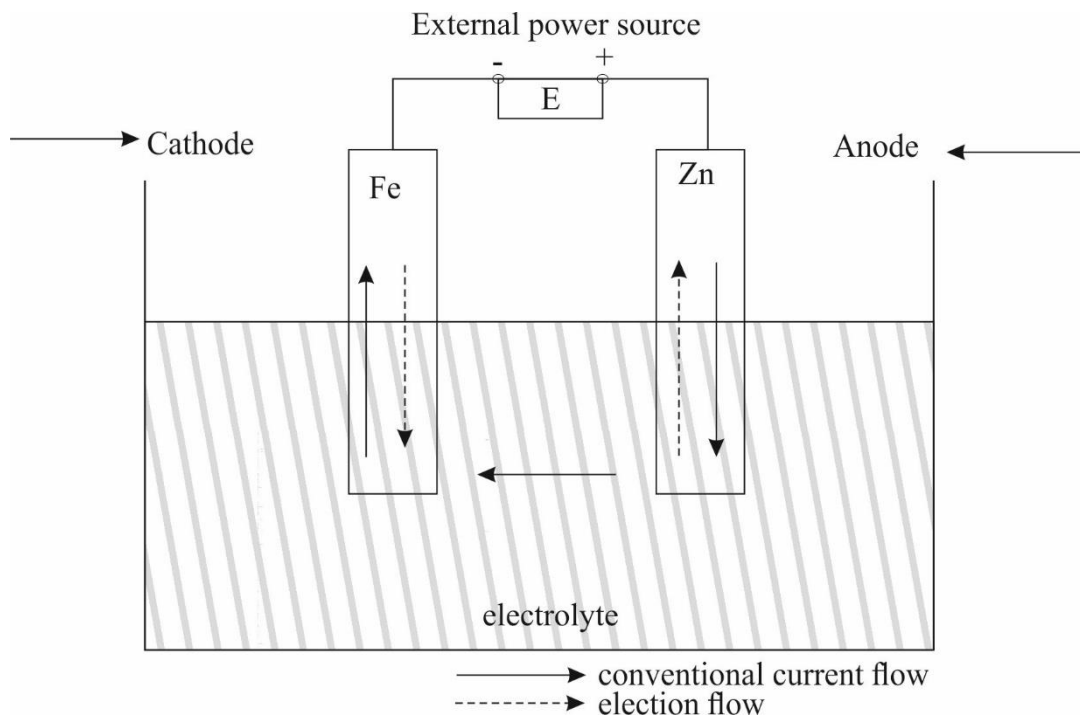


Figure 4. Electrolytic cell. The cathode and anode can be any metal

### 3. Cathodic protection

#### 3.1. Introduction

Cathodic protection is a proven corrosion control method for protection of underground and undersea metallic structures, such as oil and gas pipelines, cables, utility lines and structural foundations. Cathodic protection is now widely applied in the protection of oil drilling platforms, dockyards, jetties, ships, submarines, condenser tubes in heat exchangers, bridges and decks, civil and military aircraft and ground transportation systems. Corrosion current flows between the local action anodes and cathodes due to the existence of a potential difference between the two. As shown in Figure 5 electrons released in an anodic reaction are consumed in the

cathodic reaction. If we supply additional electrons to a metallic structure, more electrons would be available for a cathodic reaction which would cause the rate of cathodic reaction to increase and that of anodic reaction to decrease, which would eventually minimize or eliminate corrosion. This is basically the objective of cathodic protection. The additional electrons are supplied by direct electric current. On application of direct current, the potential of the cathode shifts to the potential of the anodic area. If sufficient direct current is applied, the potential difference between the anode and cathode is eliminated and corrosion would eventually cease to occur. As the cathodic current increases (more transfer of electrons), the cathodic reaction polarizes in the direction of local action anode potential, thus reducing further the potential difference between the anodes and cathodes. Complete cathodic protection is achieved when the metallic structure becomes cathode (more negative). The severity of corrosion is directly proportional to the magnitude of the difference of potential between the anode and the cathode, hence by eliminating this difference, corrosion may be eliminated.

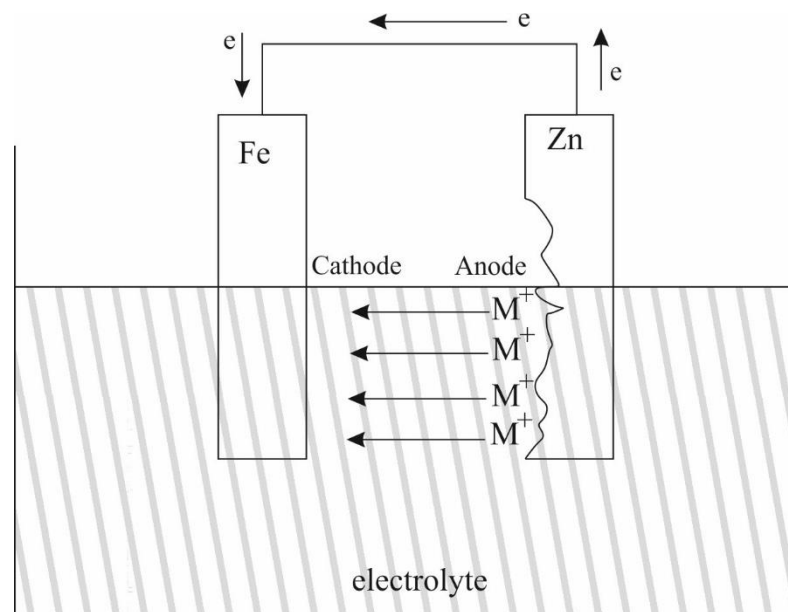


Figure 5. Simple electrochemical cell

### 3.2. Basis of Cathodic Protection

Figure 6 illustrates the simple principle of cathodic protection. On application of an external current, the difference of potential between the cathodes and anodes on the structure decreases. Corrosion stops when potential of cathode becomes equal

to the potential of anode. The anode would become more negative and the cathode more positive. Cathodic protection is, therefore, achieved by supplying an external negative current to the corroding metal to make the surface acquire the same potential to eliminate the anodic areas. The anodic areas are eliminated by transfer of electrons. After a sufficient current flow, the potential of anodic areas would become negative enough for corrosion to stop.

- a) There must be an anode, a cathode, an electrolyte and a metallic path for the transfer of electrons.
- b) A source of DC current to supply electrons.
- c) Sufficient direct current should be applied to eliminate the potential difference between the anode and the cathode.

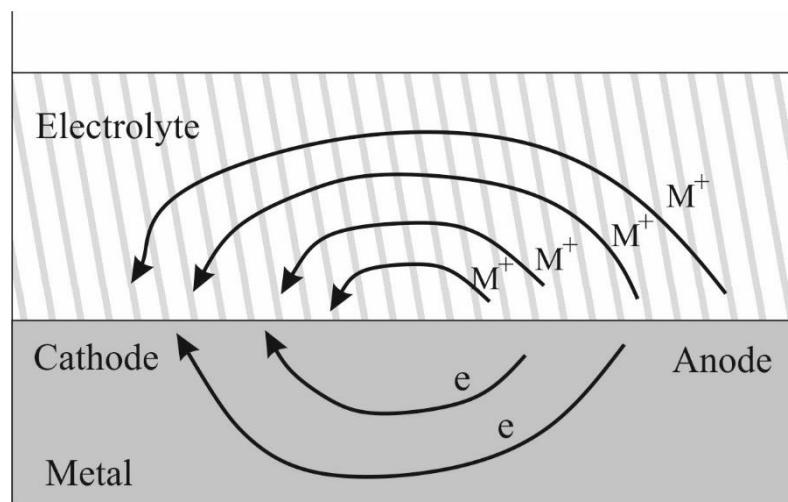


Figure 6. An electrochemical cell. Corrosion cell between two areas on single metal surface. Current flows because of a potential difference that exists between anode and cathode. Anions (e.g.  $Fe^{++}$ ) leave at the anode which corrodes and are accepted at the cathode where corrosion is prevented. Electrons are insoluble in aqueous solutions and move only in the metal.

### 3.3. Working of Cathodic Protection System

Figure 7 and 8 show how, in principle, a cathodic protection system works. Figure 7 shows a buried pipeline with anodic and cathodic areas prior to the application of the cathodic current. Figure 8 shows the same pipeline after (he cathodic protection).

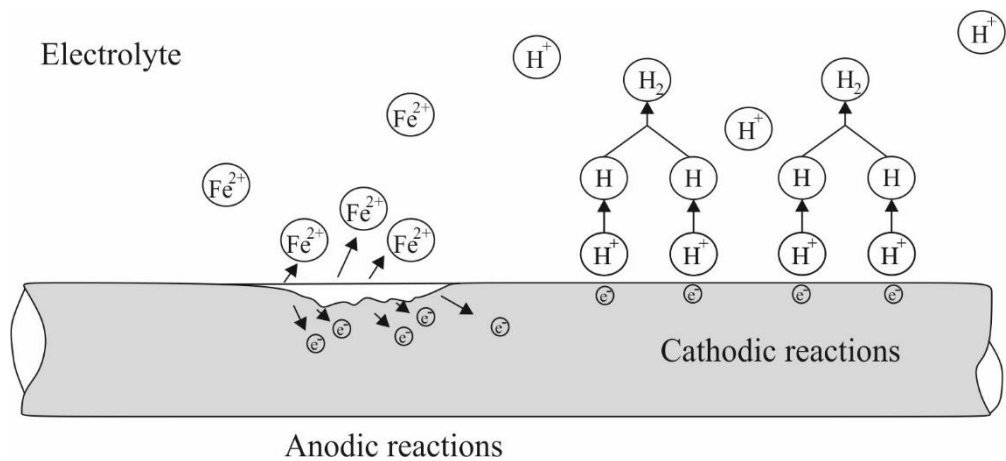


Figure 7. Anodic and cathodic reaction on a metal surface

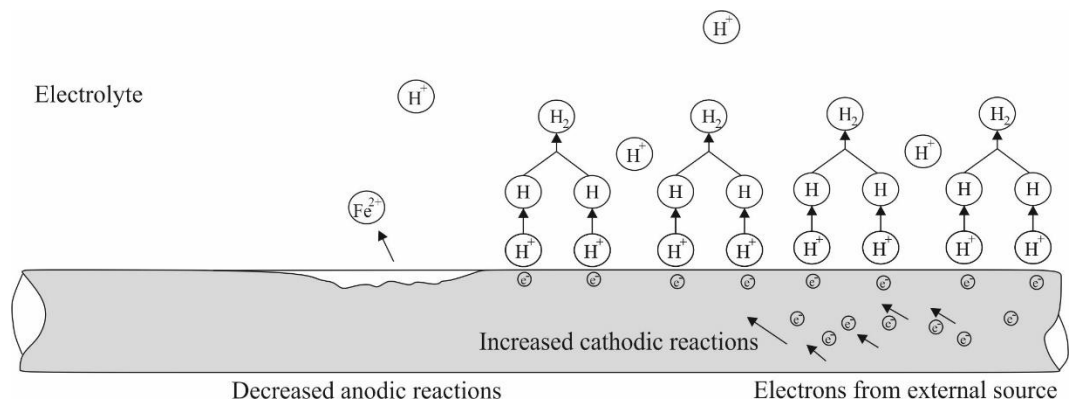


Figure 8. increased cathodic reaction and decreased anodic reaction (insignificant) caused by introducing electrons from an external source.

### 3.4. Factors leading to corrosion of underground metallic structures

The corrosion encountered by metals in aqueous solutions is always electrochemical in nature. It occurs because of the formation of anodic and cathodic areas and the flow of electrons through the metallic path. Structures^ such as pipelines buried in the ground are affected by the presence of concentration cells galvanic cells and stray currents. Some typical cells are described below.

a) **Concentration cell.** A concentration cell is formed by the differences in concentration of salts, degree of aeration, soil resistivity and degree of stress to which the metals are subjected, The above differences cause the formation of anodic and cathodic areas on the surface which lead to corrosion.

b) **Galvanic cell.** A galvanic cell is formed when two metals differing in potential are joined together. For instance, if copper is joined to aluminum, aluminum would corrode because it has a more negative potential (-1.66 V) than

copper (+0.521 V), Copper being less active becomes the cathode and aluminum becomes the anode. But if iron is joined to aluminum, the iron corrodes (in seawater) due to the passive film on aluminum which causes it to behave like a nobler metal than iron (but not nobler than copper). The formation of such galvanic cells often leads to the corrosion of underground buried structure. A steel plate with copper rivets would form a galvanic cell.

### 3.5. Anodic polarization

Imagine what would happen if the structure is now polarized in the opposite direction. It would amount to polarizing the potential of the anode to that of cathode in the positive direction. Theoretically, such a practice should result in creating corrosion rather than protection. But for some metals, positive polarization forms a protective oxide/hydroxide surface film and this phenomenon of passivation for a limited number of metals results in retardation of corrosion. By this method called anodic protection, it is possible to passivate active-passive metals. Metals, such as iron, chromium and nickel are passivated by anodic polarization, which leads to retardation of corrosion. The potential of this must, however, be maintained in the region of passivity by a potentiostat. Anodic protection is widely applied in transport of acids and corrosives in containers and other applications.

### 3.6. Cathodic protection systems

Two types of cathodic protection systems exist:

- a) Galvanic anode system or Sacrificial anode system.
- b) Impressed current anode system.

In the galvanic or impressed current system, the metallic structure is made the cathode (negative) by connecting it to galvanic anodes, which are more negative than the metallic structure to be protected. In this system, the current is generated by the corrosion of active metals, such as magnesium, zinc and also aluminum, which are galvanic anodes:



|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 101  |

The anodes of the above materials are utilized as sources of electrons which are released when the anodes are buried in the soil corrode. The electrons released pass through the metallic connection between anode and steel, and thus enter the structure to be protected.

A suitable anode is buried adjacent to and level with the invert (lowest part) of a pipeline. A connection is made between the anode and the pipeline. The anode, generally magnesium or zinc, is connected to the pipeline or any buried metallic structure by an insulated cable. A schematic diagram of a galvanic anode cathodic protection system is shown in Figure 9. The figure shows a carbon steel pipe (A), magnesium anode (B), chemical backfill (C) surrounding the anode, wires connecting the carbon steel pipe to the anode, the soil (E) and test station (F). The details of test station are shown in Figure 10.

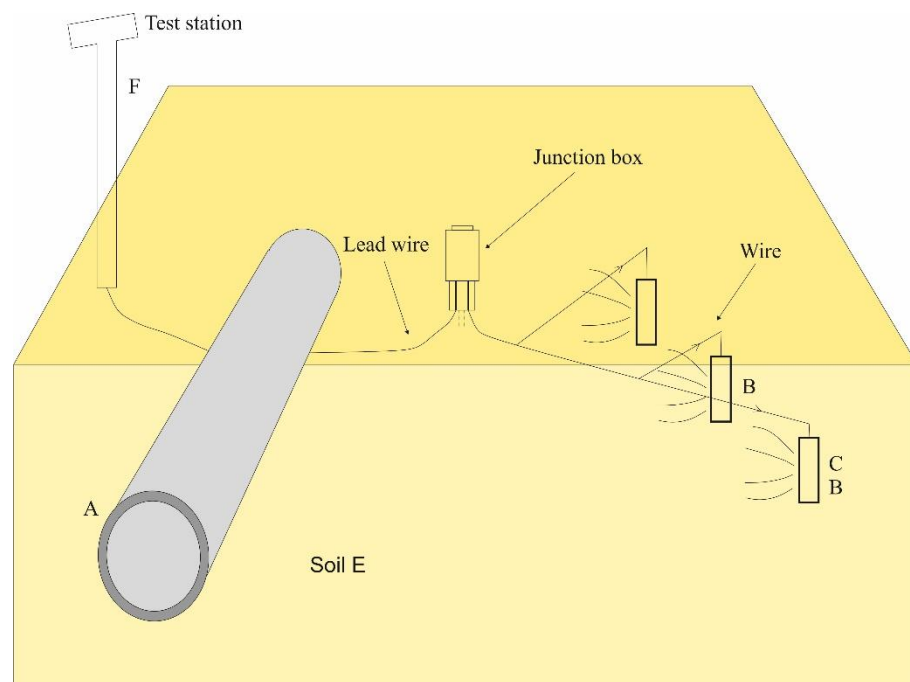


Figure 9. Typical galvanic anode in soil (arrows show the direction of convention positive current flow)

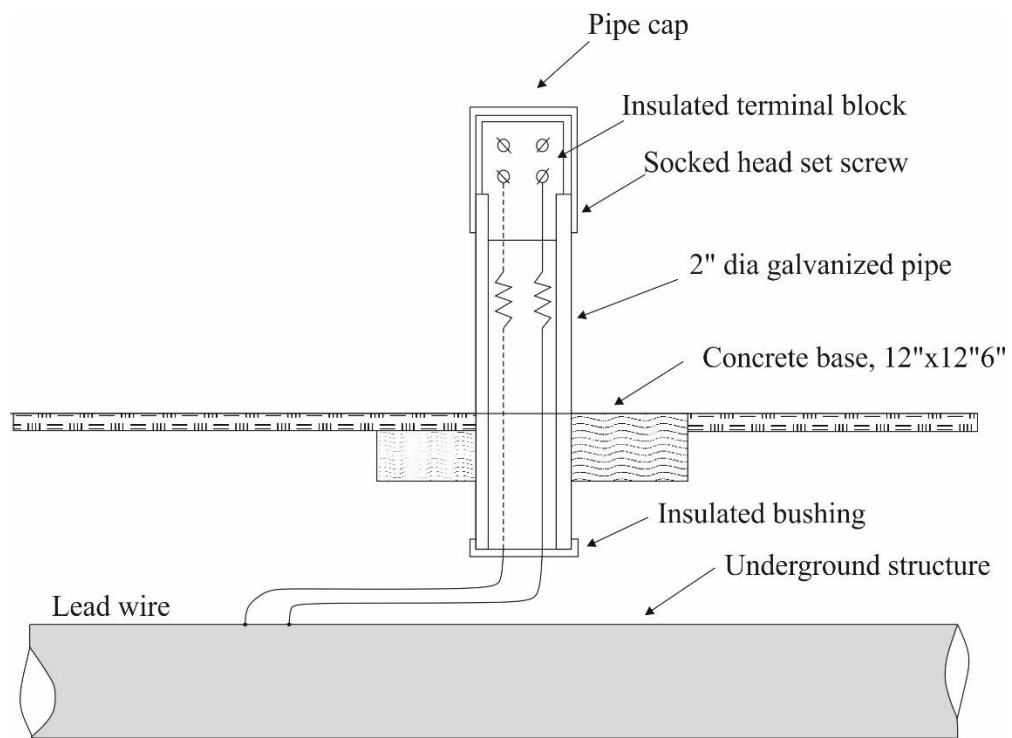


Figure 10. Details of a test station

The copper wire connection provides a passage for flow of electrons to the pipe to be protected. The electrons are released by the consumption of Mg anode in accordance with the anodic reaction,  $Mg \rightarrow Mg^{++} + 2e$ . The outer circuit is completed by the passage of electrons from the pipe (cathode) to the anode (Mg anode) through the copper wire. The pipe continues to be protected as long as it receives a regular supply of electrons from the anode. The figure shows galvanic anodes connected by a test station and separated from each other by a distance of 8 feet. The test station provides a connection between the anode lead wire and the structure via the test panel. The details of the surface box housing test station are shown in the figure. The surface box is sometimes buried below the ground level. The anodes are connected to the pipe via a central control test panel. For measurement of pipe-to-soil potential and currents from the magnesium anode; ground-bed, test stations are utilized. A special backfill, such as hydrated gypsum, bentonite and clay is placed around the anode, to ensure low resistance contact to the subject local soil.

The anodic installation is often designed for ten years but may last much longer if current demand is low. The potential of the pipe must be continuously monitored and the value should not be allowed to fall below  $-0.85 \text{ V}$  ( $\text{CuSO}_4$

reference electrode used). A 70 lb. Mg anode practically gives a current of more than 300 mA in a soil of average resistivity of 2000 ohms-cm. Bare steel sometimes requires about 15mA/ft<sup>2</sup>. A single anode can protect about 2 square feet of the pipe. By applying a coating, the current requirement is reduced to 0.5 μA/cm<sup>2</sup>, hence one Mg anode can protect up to 6000 square feet of the pipe surface. A potential value of 1.11 V is obtainable from the magnesium anode.

The following are the advantages and the disadvantages of the galvanic anode system:

a) Advantages

1. It requires no external source, which might fail.
2. It is economical.
3. It can be easily installed.
4. It can be easily maintained.
5. It can be used in areas where the soil resistivity is low.
6. Lesser interference with the other metallic structures is caused because of a relatively low current output.
7. The current is evenly distributed.

b) Disadvantages

1. It has limited applications compared to impressed current.
2. Driving voltage is fixed and cannot be manipulated, except by selecting Mg instead of Zn for example.
3. The cost of protection is high for bare systems (uncoated structures).
4. As no above-ground equipment is used, it is difficult to trace the protected system, unless contact posts are provided.

The following are the advantages and disadvantages of impressed current anode systems:

a) Advantages

1. Rectifiers available in unlimited current output.
2. May be designed for long lives.
3. More economical.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 104  |



4. Possibility of variation of current to suit the changes in the system.

b) Disadvantages

1. External power is essential.

2. More complicated system for installation.

3. Less economical for smaller jobs.

4. Limited to use below a soil resistivity of 3000 ohms-cm.

|      |      |          |         |      |  |      |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
|      |      |          |         |      | Приложение А. Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  | 105  |