

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и долговечность газонепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов»

УДК 622.691.4.053:620.197

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Копырин Константин Петрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Зарубина Оксана Николаевна	к.х.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк Вера Борисовна	к.э.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Поздеева Галина Петровна	к.ф.н, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Шадрин Анастасия Викторовна	д.т.н, доцент		

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
Р1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	УК-1; УК-2; УК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
Р2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы</i> –в области интеллектуальной собственности	УК-1; УК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
Р3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	УК-1; УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
Р4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	УК-2; УПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20
<i>в области проектной деятельности</i>		
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	УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	УК-1; УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
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	УК-1; УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СВООС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли</i>
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СВООС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
		<i>стандарта 19.013 "</i> <i>Специалист по эксплуатации</i> <i>газотранспортного</i> <i>оборудования"</i>
Р11	Организация работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС</i> <i>ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-</i> <i>9,ПК-14), требования</i> <i>профессионального</i> <i>стандарта 19.053"</i> <i>Специалист по эксплуатации</i> <i>нефтепродуктоперекачивающ</i> <i>ей станции магистрального</i> <i>трубопровода нефти и</i> <i>нефтепродуктов "</i> .

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР

 (Подпись) (Дата) Шадрин А.В.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Копырин Константин Петрович

Тема работы:

«Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 28.02.2020 г. № 59-72/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Магистральный газопровод в зоне защиты УКЗ с учетом влияния блуждающих токов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор существующих методов защиты магистральных трубопроводов от коррозии. 2) Рассмотрение методов регулирования станции катодной защиты. 3) Постановка задач исследования. 4) Изучение условия проведения оптимизации СКЗ. 5) Применение статистического метода контрольных карт Шухарта с выявлением нестабильности процесса. 6) Анализ полученных данных и расчет электрохимических параметров СКЗ. 7) Выбор оптимальных параметров и типа СКЗ по полученным данным.
Перечень графического материала	- Зависимость коррозионной активности почв от сопротивления

	<ul style="list-style-type: none"> - Методы регулирования СКЗ; - Контрольная карта Шухарта с выявлением нестабильности; - Схема распространения защитного потенциала ЭХЗ.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна, доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент ООД, ШБИП
Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП	Поздеева Галина Петровна, доцент, к.ф.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Статистические методы контроля параметров для станций катодной защиты	
Разбор методики оптимизации работы средств электрохимической защиты	
Модель распределения потенциала по трубопроводу	
Обработка данных	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Зарубина Оксана Николаевна	к.х.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Копырин Константин Петрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Копырину Константину Петровичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Организационная структура управления Линейный календарный график выполнения работ Графики динамики и сравнения показателей</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Копырин Константин Петрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Копырину Константину Петровичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

Тема ВКР:

Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объектом исследования является станция катодной защиты, которая выступает в качестве защиты магистрального газопровода от подземной коррозии.</i></p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197 – ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017) // СПС «Консультант Плюс». - Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // СПС «Консультант Плюс» - ГОСТ 12.2.061-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам
<p>2. Производственная безопасность</p> <p>2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов:</p> <p>2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p><i>Анализ выявленных вредных факторов, к которым относятся:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - Повышенный уровень ионизирующих излучений; - Недостаточная освещенность рабочей зоны; - Повышенный уровень шума на рабочем месте; - Умственное перенапряжение;

	<p>- <i>Физические перегрузки.</i> <i>Анализ выявленных опасных факторов:</i> - <i>электрический ток.</i> - <i>пожаровзрывобезопасность.</i></p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p><i>Работа осуществлялась за персональным компьютером, который работает от сети переменного тока (220 В, 50 Гц).</i> <i>При монтаже технологического оборудования электрохимической защиты учитываются факторы негативного влияния на окружающую среду:</i> <i>На атмосферу: выброс вредных веществ отсутствует</i> <i>На гидросферу: отсутствует</i> <i>На литосферу: деградация почвы, что влияет на ее плодородность при монтаже блок-блокса</i></p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p><i>Возможные чрезвычайные ситуации могут быть:</i> - <i>пожар</i> - <i>стихийное бедствие</i> - <i>природное явление (сильные морозы)</i> Наиболее вероятная ЧС: <i>пожар</i></p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	К.П. Копырин		

РЕФЕРАТ

Диссертационная работа 138 с., 42 рис., 30 табл., 72 источников, 1 прил.

Ключевые слова: магистральный газопровод, катодная защита, анодное заземление, СКЗ, ЭХЗ, коррозия, активная защита, пассивная защита, контрольная карта шухарта,

Объектом исследования является станция катодной защиты, эксплуатируемая на магистральном газопроводе. Исследуемый участок 272 – 472км

Цель работы – выбор оптимальных параметров работы станции катодной защиты с применением статистических методов для обеспечения надежной эксплуатации газопровода.

В процессе исследования проведен расчет параметров противокоррозионной защиты трубопровода с применением статистического метода, а именно расчет параметров катодной установки, расчет параметров анодного заземления и расчет электрических характеристик газопровода согласно нормативной технической документации СТО Газпром 9.2-003-2009, анализ вредных и опасных производственных факторов, анализ экономической эффективности

В результате исследования был произведен подбор оборудования по полученным результатам и рекомендация по снижению затрат на электроэнергию путем отключения катодной станции, даны рекомендации по снижению вредных и опасных производственных факторов и неблагоприятного влияния на окружающую среду.

Область применения: данный метод исследования применяется в области защиты магистрального газопровода от коррозии с целью уменьшения финансовых затрат и электроэнергии.

Экономическая эффективность/значимость рассчитана стоимость монтажа станций катодной защиты разных производителей. Затраты на монтажные работы более перспективной станции катодной защиты КМО-ИПКЗ-Евро ниже на 22%, чем В-ОПЕ-ТМ на участке магистрального газопровода.

Сокращения

В ходе процесса работы ВКР применены следующие сокращения:

- МГ – магистральный газопровод;
- ЭХЗ – электрохимическая защита;
- СКЗ – станция катодной защиты;
- УКЗ – установка катодной защиты;
- КМО – комплекс модульного оборудования;
- СМЭС – стационарный медно – сульфатный электрод сравнения;
- ВЭ – вспомогательные электроды;
- КЗ – кабельный зажим;
- ТС – термитная сварка;
- АЗ – анодное заземление;
- ПКЗ – преобразователь катодной защиты;
- ГРС – газораспределительная станция;
- КС – компрессорная станция;
- ГПЗ – газоперерабатывающий завод;

Оглавление

Введение	15
Глава 1. Обзор литературы	17
1.1 Подходы предотвращения коррозионных разрушений магистральных газопроводов, методы борьбы	17
1.2 Методы защиты магистральных газопроводов от коррозии	20
1.2.1 Пассивная защита трубопровода	20
1.2.2 Активный метод защиты от коррозии	21
Глава 2. Объекты и методы исследования	24
2.1 Методы контроля защищенности и состояния газопровода	24
2.2 Обзор существующих методик по совершенствованию работ средств электрохимической защиты	27
2.3 Методы регулирования катодной защиты при периодической поляризации	29
2.4 Определение оптимальных режимов работы электрохимической защиты трубопроводов	32
Глава 3. Контроль защищенности магистрального газопровода	41
3.1 Статистические методы контроля параметров для станций катодной защиты	41
3.2 Разбор методики оптимизации работы средств электрохимической защиты	49
3.3 Модель распределения потенциала по трубопроводу	54
Глава 4. Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	55
4.1 Расчет электрических характеристик газопровода	55
4.2 Расчет параметров установок катодной защиты	62
4.3 Расчет параметров анодного заземления.	66
4.4 Обоснование проведенного исследования по результатам данных ..	70

					<i>Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Копырин К.П.</i>			<i>Оглавление</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Зарицина О.Н.</i>					13	139
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 25М81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

4.4.1 Выбор анодного заземления	70
4.4.2 Выбор электрода сравнения.....	76
4.4.3 Выбор типа установки катодной защиты	82
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	87
5.1 Сметная стоимость выполнения работ	89
Глава 6. Социальная ответственность.....	98
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	99
6.2 Производственная безопасность	101
6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	102
6.4 Экологическая безопасность	110
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	111
Заключение	116
Список литературы:	118
ПРИЛОЖЕНИЕ А	126
Chapter A. The development of methods for regulating the operation mode of cathodic protection stations	127

Введение

В последнее время все большее значение уделяется защите газопроводов от коррозии. Основной причиной является длительная эксплуатация, которая составляет более 30-50 лет. Благодаря станциям катодной защиты процесс коррозионного разрушения замедляется. К сожалению, перебои в работе магистрального газопровода приводят к экологическим и экономическим потерям.

Хотя наилучшая защита газопровода способствует контролированию параметров работы станций катодной защиты, а так же необходимостью изменения значений тока, напряжения и защитного потенциала в зависимости от места пролегания трубопровода и состояния грунта. Интенсивность коррозионного разрушения, следовательно, и состояние трубопровода зависит от ряда факторов, а именно: коррозионная активность, характеристика грунтов в месте прокладки, глубина залегания участка газопровода, в местах пересечения с линиями электропередач (источниками блуждающего тока), качество изоляционного покрытия, эффективность средств электрохимической защиты (ЭХЗ) и тд. В то же время параметры работы станций катодной защиты, располагающиеся вдоль трубопровода на значительном расстоянии, должны синхронно изменяться, чтобы обеспечить эффективную защиту.

Первоначально внимание уделяется изоляции, что способствует долговечной и безотказной эксплуатации магистральных трубопроводов. Благодаря свойствам изоляционного материала воздействие окружающей среды на металл трубопровода незначительно.

Известно, что для эффективной борьбы с коррозией газопроводов используют так называемую катодную защиту. Данный метод подразумевает

					<i>Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Копырин К.П.</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Зарибина О.Н.</i>					<i>15</i>	<i>138</i>
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

подачу отрицательного защитного потенциала на поверхность защищаемой детали [1].

Следует понимать, что ни один вид антикоррозийной защиты не способен предотвратить разрушение газопровода в полной мере, однако катодная защита действительно является одним из наиболее действенных способов – установлено, что ее использование может сдерживать образование коррозии до 30 лет.

Целью данной работы является выбор оптимальных параметров работы станции катодной защиты с применением статистических методов для обеспечения надежной эксплуатации газопровода.

Задачи, поставленные на основе цели

- Изучить основные нормативные документы по электрохимической защите подземных трубопроводов и станций катодной защиты;
- Проанализировать существующие методы регулирования системы катодной защиты;
- Провести противокоррозионный расчет электрохимической защиты магистральных газопроводов с учетом применения статистического метода и разработка рекомендации полученными результатами исследования с подбором оборудования.
- Рассчитать эффективность затрат на монтажных работах между двумя разными установками катодной защиты.

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Подходы предотвращения коррозионных разрушений магистральных газопроводов, методы борьбы

Коррозией трубопроводов называется физико-химический процесс, обусловленный электрохимическими реакциями окисления металла при взаимодействии с окружающей средой. Со временем эксплуатации изменяется на ионном уровне поверхность металла, растворяясь с поверхности трубы. Механизмы и причины окисления металла различны, например процесс окисления зависит от характера жидкости, протекающей по трубопроводу, от грунта и окружающей среды, где проложен трубопровод. На основании условий прокладки трубопровода выбирается наиболее подходящий способ противодействия механизмам коррозионного разрушения. Выделяют три способа защиты трубопровода от коррозионного разрушения: химическая обработка жидкости, протекающая в трубопроводе; внутренняя или внешняя защита поверхности трубопроводов; использование катодной защиты. При строительстве трубопровода, уделяют большое внимание подбору материала, в основном используются металлы, слабо взаимодействующие со средами, такие как медь, нержавеющая сталь.

На первоначальных этапах коррозионного воздействия образуется сплошная тонкая оксидная пленка, которая способствует защите металла от коррозионного разрушения. Несмотря на это, очаги коррозии появляются из-за неравномерного образования пленки или ее разрывов.

Почва представляет собой капиллярно-пористую среду с ярко выраженной структурной неоднородностью, которая состоит из трех фаз: твердая, жидкая и газообразная фазы.

Электролитические свойства изменяются в широких пределах в

					Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Копырин К.П.			Обзор литературы	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарицкина О.Н.					17	138
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

зависимости от физико-химического состава грунта, структуры и степени уплотнения.

Скорость коррозии металла в почве характеризуется коррозионной защитой, следовательно, зависит от электрической проводимости, влажности, проницаемости воздуха, кислотности, щелочности, состава соли в грунте и температуры.

В коррозионных процессах существенную роль играет электрическая проводимость почв. Коррозионная активность у большинства почв увеличивается с ростом коррозионной активности. Электрическая проводимость характеризуется удельным сопротивлением ρ , которое прямо пропорционально изменяется относительно коррозионной активности [2].

Таблица 1.1 – Зависимость коррозионной активности почв от сопротивления [2]

ρ , Ом·м	Коррозионная активность
Св. 100	Низкая
От 20 до 100 включ.	Средняя
От 10 до 20 включ.	Повышенная
От 5 до 10 включ.	Высокая
Менее 5 включ.	Весьма высокая

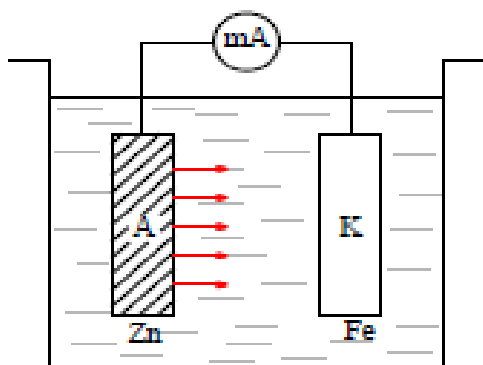
Коррозионное разрушение газопровода зависит от чередования почв с различной электрической проводимостью: с увеличением влажности возрастает активность почвы, при достижении максимума убывает в связи с затрудненным доступом кислорода. Проницаемость воздуха связана с влажностью, так как при ее снижении в некоторых почвах высвобождается пространство и заполняется воздухом.

Для понимания коррозионного процесса, который протекает на поверхности газопровода, рассмотрим работу гальванического элемента. На рисунке 1.1 изображены две пластины: цинк и железо. Они были помещены в подкисленную воду – электролит, и при измерении электродного защитного

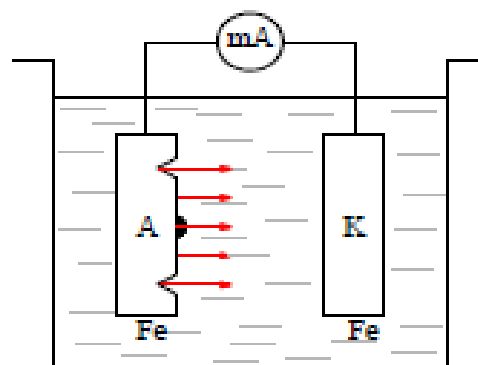
потенциала «пластина – электролит» значение более электроотрицательного будет для цинка и более электроположительное для железа [2].

В случае замыкания пластин наличие электрического тока покажет миллиамперметр.

а)



б)



а) различные свойства металла; б) изменение структуры стержней

Рисунок 1.1 – Возникновение гальванического элемента [2].

Анодным процессом называется процесс протекающий на цинковом электроде А (анод), где происходит процесс перехода металла в электролит в виде гидратированных ионов, оставляя эквивалентное количество электронов в металле. Катодным процессом называется процесс, проходящий на электроде из железа К (катод), где поглощаются избыточные электроны, остающиеся в металле, и восстанавливаются водородом и кислородом. Если заменить цинковую пластину на стальную, произвести структурные изменения на поверхности (царапина, вмятина, наклеп), то миллиамперметр покажет наличие тока в цепи. Расположение одинаковых железных пластин в различные по составу и концентрации электролиты также инициирует электрический ток. Также есть вариант нагревать одну из пластин или же пропускать под ней воздух.

1.2 Методы защиты магистральных газопроводов от коррозии

1.2.1 Пассивная защита трубопровода

Пассивную защиту трубопроводов от коррозии обеспечивают изоляционные покрытия, плотно соприкасаясь с металлом трубопровода препятствуют взаимодействию с коррозионно-опасной средой (вода, кислород, воздух и др.) [3,4,5,6,7].

К основным критериям, которые предъявляются к изоляционным покрытиям, относятся: хорошие диэлектрические свойства; высокая теплостойкость относительно окружающей температуры; высокая механическая прочность для минимизации нарушения сплошности изоляционного слоя; высокая морозостойкость; химическая стойкость; нейтральность полиэтиленового покрытия к поверхности металла трубы; хорошая адгезия к металлу. Изоляционным покрытиям необходимо обладать определенной устойчивостью к механическим воздействиям, а так же сохранять свойства при широком диапазоне температур для обеспечения защищенности на срок эксплуатации трубопровода.

Чаще всего на трубы идут с заводской изоляцией: полимерно-усиленная или весьма усиленная изоляция. ВУС-изоляция состоит из трех слоев, на сегодняшний день это количество считается оптимальным при строительстве газопровода в условиях крайнего севера. Изоляция газовых труб выполняется в заводских условиях, что считается идеальными условиями. В трассовых условиях происходит изоляция стыков газопровода, поэтому долговечность и качество изоляции трубы должно соответствовать качеству заводской изоляции трубы. При проведении монтажных работ применяются термоусаживающиеся изоляционные манжеты с термоплавкой внутренней адгезионной поверхностью и эпоксидным праймером ТИАЛ-МГП [8].

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Таблица 1.2 – Параметры сопротивления изоляционных материалов [9]

Тип изоляции	ρ' , Ом·м ²
Битумная изоляция	10^5
Полимерная изоляция	$3 \cdot 10^5$
Экструдированный полиэтилен	От 10^7 до 10^8

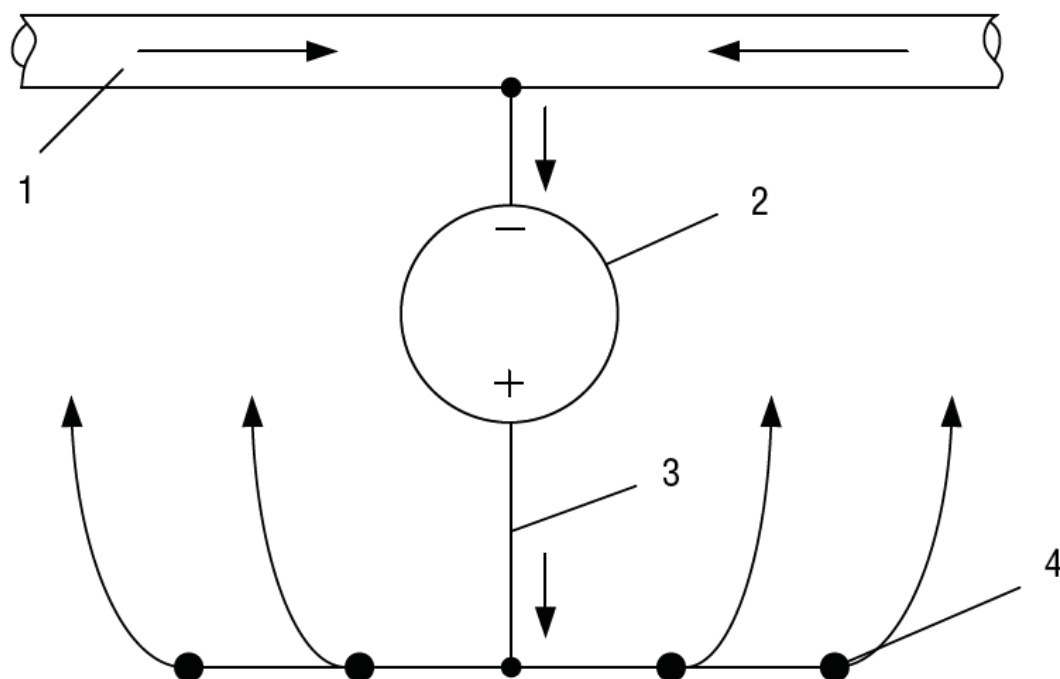
Одним из основных параметров изоляционных покрытий является сопротивление, значение которого воздействует на защищенность газопровода [9]. На основе экспериментальных данных, выполненные в области электроизоляции, было установлено, минимальное сопротивление покрытия должно составлять 10^4 Ом·м². В таблице 1.2 представлены параметры сопротивления изоляционных материалов.

Снижение сопротивления обычно свидетельствует о происходящих в материале изменениях, являющиеся предшественниками начала трещинообразования, появления микродефектов, ростом пористости вследствие вымывания. Следовательно, предъявляя требования к материалу с величиной переходного электрического сопротивления, предотвращают не только рост электроэнергии на катодную защиту, а также на свойства изоляционного материала [10].

1.2.2 Активный метод защиты от коррозии

Главными способами активной защиты является протекторная, электродренажная и катодная защиты. Кратко рассмотрим каждую из них. Катодная защита – это вид поляризации, осуществляющий воздействие от внешнего источника электрической энергии. Постоянная поляризация происходит при эксплуатации, если сооружение находится в среде с высокой электропроводностью. Периодически катодная поляризация производится, что способствует снижению экономических затрат. Временами придается чрезмерно низкий электрический защитный потенциал, не способствующий

термодинамического разрушения. На рисунке 1.2 представлена схема электрохимической защиты.



1 – труба; 2 – станция катодной защиты; 3 – соединительная линия; 4 – анодное заземление

Рисунок 1.2 – Схематическое изображение электрохимической защиты

Трубопровод считается катодом относительно электролита, анодом является грунт, в котором пролегает трубопровод [11].

Протекторную защиту выделяют как разновидность катодной защиты. Данный способ защиты базируется на так называемой катодной поляризации, которая проявляется как изменение защитного потенциала за счет течения тока. Такой эффект приводит к воздействию на поверхность металла, у которого по сравнению с трубопроводом электродный защитный потенциал меньше. Для трубопровода используют материал с большей электроотрицательностью, в связи с чем имеет место разрушению пластины.

Что касается электродренажной защиты, то к ней прибегают для борьбы с блуждающими токами, которые в зависимости от обстоятельств требуется либо уменьшить, либо совсем отвести. Такая мера безопасности позволяет минимизировать воздействие блуждающих токов на то или иное подземное сооружение [12].

						Обзор литературы	Лист
							22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Магистральные газопроводы в основном снабжены глубинными анодными заземлителями (ГАЗ). Как правило, они представляют собой несколько параллельных ГАЗ, и их использование позволяет реализовать контура заземляющего устройства [13].

Существует понятие установка катодной защиты (УКЗ). Под данным термином принято понимать сооружение, которое, как правило, включает в себя:

- дренажный кабель;
- выпрямители (преобразователи напряжений);
- защитный заземлитель;
- анодный заземлитель;
- электролинии для соединения [14].

Данное сооружение обеспечивает смещение защитных потенциалов на трубопроводе в отрицательную сторону с целью защиты трубопроводов от коррозии.

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1 Методы контроля защищенности и состояния газопровода

В процессе эксплуатации необходимо осуществлять контроль защищенности от коррозии, чтобы повысить эффективность электрохимической защиты, причем результаты должны быть достоверными и отражать действительное состояние противокоррозионной защиты [14].

В настоящее время существуют методы контроля защитной разности потенциалов, защищаемого сооружения.

На сегодняшний день применяется три метода защиты трубопровода:

1) Контроль защищенности по потенциалу, включающий в себя следующие методы:

- выносной электрод;
- выключение катодной поляризации;
- отключение тока поляризации вспомогательного электрода;
- применение капилляра Габера-Луттина;
- определение поляризационного защитного потенциала с

применением электрохимической ячейки.

2) Контроль смещения потенциала от стационарного значения;

3) Контроль плотности тока катодной защиты.

Метод измерения разности потенциалов между стальным сооружением и неполяризуемым электродом сравнения является одним из распространенных методов контроля защитного потенциала стального подземного сооружения. Электрод сравнения находится над измеряемым объектом в период проведения измерений [15,16,17].

					Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Копырин К.П.			Объекты и методы исследования	Лит.	Лист	Листов
Рцковод.		Зарцбина О.Н.					24	139
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

Возникновение коррозионных разрушений на участках, где разность потенциалов находится в определенных рамках, что связано со сложившейся совокупностью коррозионных факторов [15,18,19,20,21].

Подходы к ранжированию факторов, которые существуют в нормативно-технической документации, не дают рекомендации по поддержанию необходимых значений защитных потенциалов и не оценивают совокупное влияние. Кроме того, необходимо вводить дополнительные факторы, которые влияют на коррозию, на пример наведенные переменные токи [22,23,24,25].

При условии отсутствия информации по основным факторам, которые влияют на коррозию, сложно принимать решение об оптимальности параметров работы СКЗ, обеспечивающие защищенность на 100% на всех сооружениях с минимальными энергозатратами. К основным факторам относятся: плотность переменного и постоянного токов; режим работы станций катодной защиты; удельное сопротивление грунтов; температура и т.д.

На данный момент отслеживание степени защищенности, наличия и значений с отличными коррозионными факторами упрощается в соответствии с внедряемыми объектами транспорта при мониторинге коррозионного воздействия [26].

Коррозионный мониторинг называется систематическим сбором, который накапливает и анализирует данные об изменениях коррозионного состояния защищаемых объектов со времени начала эксплуатации, параметров и средств, и условий интенсивности коррозионного воздействия внешних и внутренних факторов на сооружения и металлические конструкции [27].

В СТО Газпром 9.4-023-2013 изложены основные требования к мониторингу коррозионного воздействия для объектов газотранспортной системы.

					Объекты и методы исследования	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На рисунке 1.3 представлена схема автоматизированного контроля и управления средствами защиты от коррозии на основе СТО Газпром 9.4-023-2013.

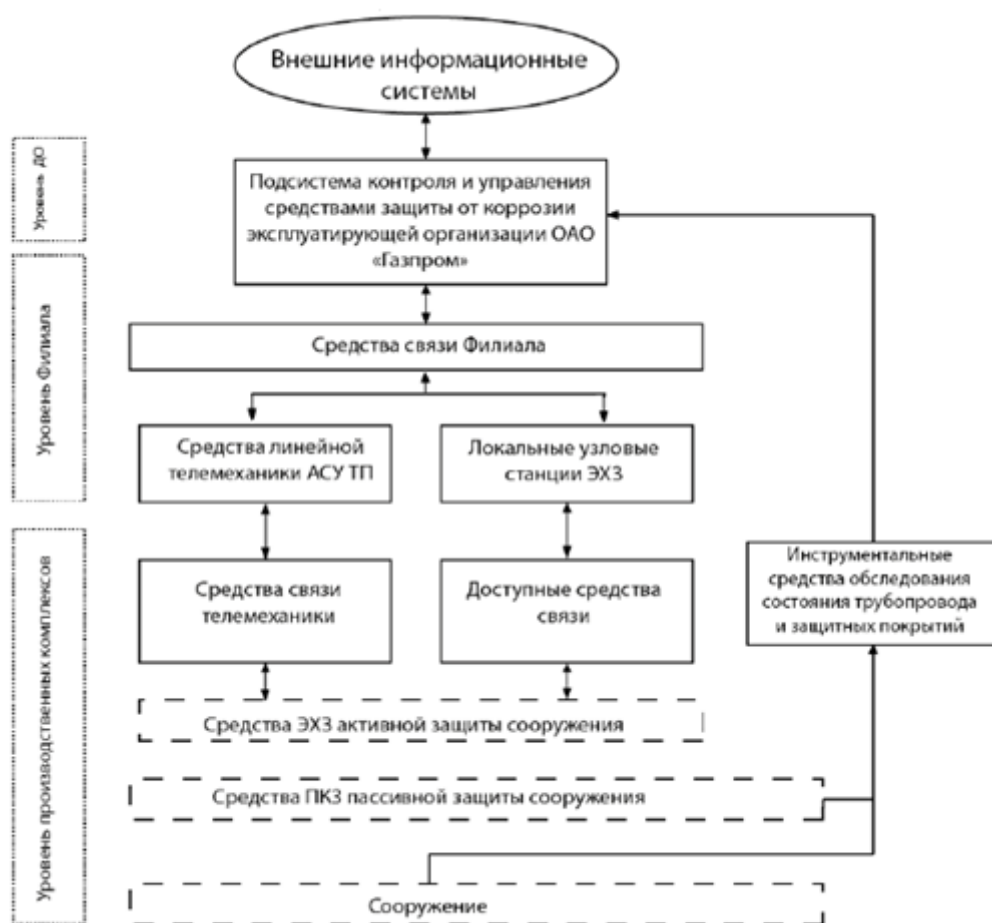


Рисунок 2.1 – Схема автоматизированного управления и контроля средствами защиты от коррозии [27]

Для обработки и сбора данных необходима система коррозионного мониторинга. Данные, которые система собирает и обрабатывает: коррозионный процесс и противокоррозионная защита подземных газопроводов, а так же передача информации на АРМ оператора.

Главными параметрами контроля мониторинга коррозионного воздействия на системы электрохимической защиты магистральных газопроводов:

- защитная суммарная разность потенциалов;
- поляризационный защитный потенциал;

- скорость коррозии;
- плотность переменного и катодного тока;
- температура;
- значение тока преобразователей на выходе;
- значение выходного напряжения преобразователей УКЗ.

Внедрение эксплуатационного коррозионного мониторинга позволяют решать практические задачи:

- контроль над коррозионными процессами в опасных зонах;
- контроль над параметрами ПКЗ;
- интеграция с информационными системами для решения задач (расчет показателей технического состояния и прогноз изменения; расчет показателей надежности объектов и срока их эксплуатации; расчет срока вывода в капитальный ремонт);
- анализ коррозионного состояния оборудования и сооружений, а так же выявление тенденций их коррозионного разрушения;
- расчет режимов работы средств электрохимической защиты и ингибиторной защиты;
- рост эффективности противокоррозионной защиты оборудования и объектов;
- обеспечение аварийной сигнализации при отказах элементов и средств защиты, систем электроснабжения.

Таким образом, основываясь на проведенном выше обзоре можем заключить, что обеспечение оптимальных условий работы (режима работы) элементов электрохимической защиты является актуальной проблемой, которая остается не решенной в должной степени [26].

2.2 Обзор существующих методик по совершенствованию работ средств электрохимической защиты

Надежность противокоррозионной защиты (ПКЗ) газопроводов в целом контролируются с помощью косвенных критериев защищенности (U_{\min}, U_{\max}), отражающие коррозионное сопротивление газопроводов в условиях

					Объекты и методы исследования	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

непрерывной поляризации по времени. На основании нормативной технической документации [28,29] эффективность работы ЭХЗ оценивается результатами измерений защитных потенциалов в трех опорных точках: в точке дренажа установки КЗ и на границах зоны их защиты. На рисунке 2.2 представлен классификатор требований защищенности от коррозионного воздействия газопроводных систем.

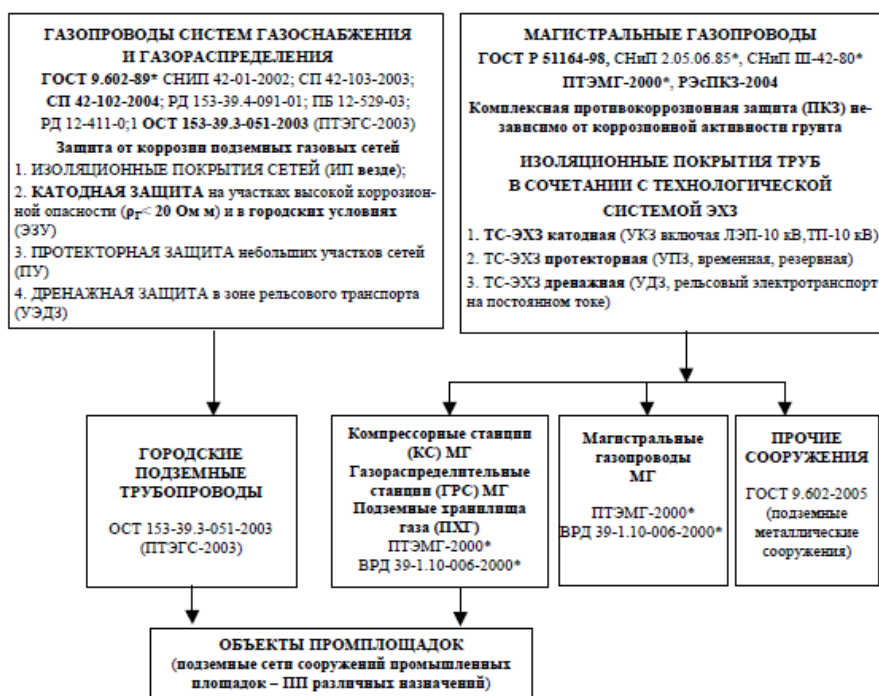


Рисунок 2.2 – Классификатор требований по защите от коррозии газопроводных систем и сетей сооружений площадок [30]

Классификатор способствовал разработке методике оценки эффективности ЭХЗ системы газоснабжения [30]. Этот метод рассматривается как совокупность точек, каждая из которых обладает определенным защитным потенциалом. Выявляются зависимости значения потенциала точки при фиксированной системе координат. Зависимости описываются системой линейных уравнений:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= A_{01} + A_{11}I_1 + A_{21}I_2 + \dots + A_{n1}I_n, \\
 U_2 &= A_{02} + A_{12}I_1 + A_{22}I_2 + \dots + A_{n2}I_n, \\
 U_3 &= A_{0k} + A_{1k}I_1 + A_{2k}I_2 + \dots + A_{nk}I_n.
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Система уравнений для n электрозащитных устройств и k точек характеризуется параметрами ЭХЗ, а также позволяет регулировать значение тока и определять оптимальный режим установок катодной защиты. Определение значений токов (I_1, I_2, I_n) способствует решению задач по оптимизации режима работы станций катодной защиты:

$$\begin{aligned} U_{max1} &= A_{01} + A_{11}I_1 + A_{21}I_2 + \dots + A_{n1}I_n \geq U_{min1}, \\ U_{max2} &= A_{02} + A_{12}I_1 + A_{22}I_2 + \dots + A_{n2}I_n \geq U_{min2}, \\ U_{maxk} &= A_{0k} + A_{1k}I_1 + A_{2k}I_2 + \dots + A_{nk}I_n \geq U_{mink}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$0 \leq I_j \leq C_j.$$

В результате задача сводится к нахождению значений токов установок катодной защиты, при которых обеспечивается нормативная защищенность газопровода при минимальном расходе электроэнергии устройства. Коэффициент A_{ij} – функция расстояния от точки до анодных заземлений. По результатам расчетов можно определить незащищенные участки газопровода. Защищенность сетей определяется измерением защитных потенциалов в контрольных точках и рассчитываются по формуле:

$$P = \frac{n_3}{n_0} * 100 \%, \quad (2.3)$$

где n_3 – количество точек, где защитный потенциал находится в пределах защитного диапазона;

n_0 – количество точек с проводимыми измерениями [31].

2.3 Методы регулирования катодной защиты при периодической поляризации

В случае, когда смещение защитный потенциала в отрицательную сторону достигает 100 мВ и больше, на поверхности металла трубопровода наблюдается торможение коррозионных процессов [32]. Известно, что поляризационный потенциал рассматривают как наиболее важный критерий защищенности в различных средах. К основным параметрам электрохимической защиты относят величину потенциала и тока защиты [33].

					Объекты и методы исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Далее на рисунке 2.3 приведена классификация методов регулирования электрохимической защиты.

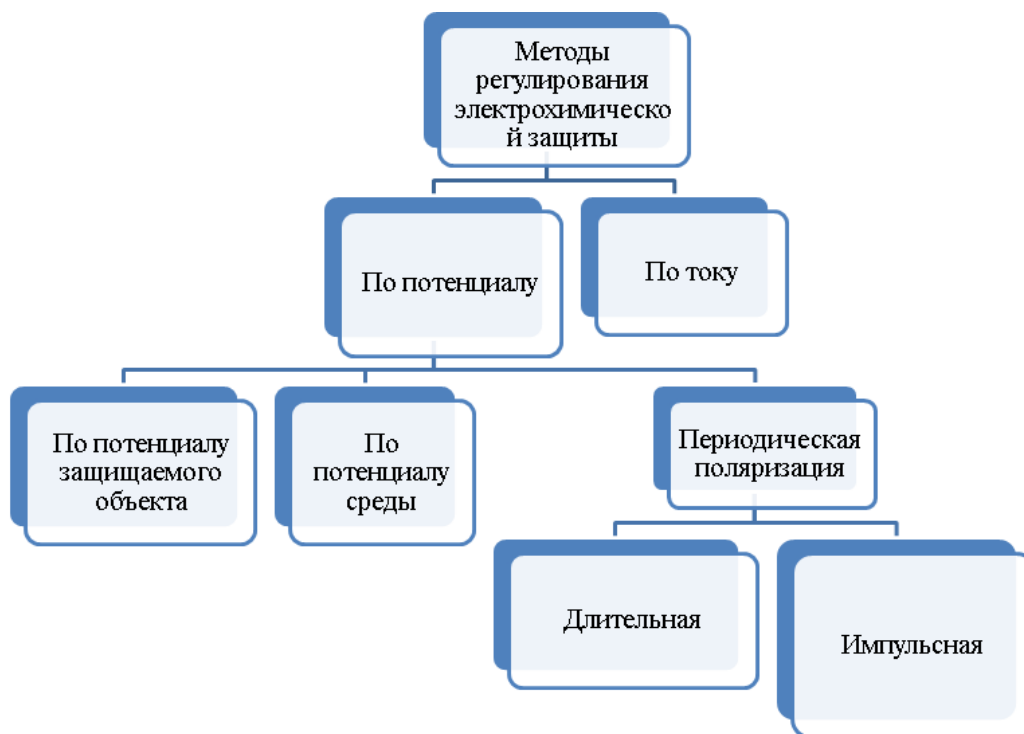


Рисунок 2.3 – Классификация методов регулирования электрохимической защиты [34]

Регулирование тока определяется в зависимости от ряда факторов. Наиболее важными из них являются постоянные электрофизические свойства среды, а также степень разложения изоляционного материала [34]. Величина потенциала, который прикладывается к газопроводу и поддерживается на заданном уровне, устанавливается в соответствии с существующими нормативными значениями.

При регулировании величины защитного потенциала эффективная коррозионная защита зависит от стабилизации, что предельное значение зависит от температуры устанавливаемого потенциала. На основе исследования [14] было доказано. Кроме того, использование большого количества электроэнергии способствует обеспечению катодной защиты. Периодическая подача тока позволяет регулировать защиту и сокращать затраты электроэнергии (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Классификация методов периодической поляризации [34]

Существует два режима подачи тока: импульсный (0,001 до 10 с) и длительный (от 0,5 до 30 мин). Путем включения и отключения длительного режима поляризации сохраняется определенное значение потенциала.

Широкое применение методов подробно расписано в работах [35,36]. При изменении числа импульсов происходит регулирование катодной защиты. При постоянных или переменных значениях импульсов тока осуществляется подача тока [17,37].

Техническими устройствами разного исполнения осуществляется поляризация защищаемого объекта. В случае использования схем дискретного и непрерывного регулирования главных параметров осуществляется одноступенчатый и многоступенчатый контроль. Элемент способный ограничивать выделение тока являются устройства бесконтактного и контактного типа. Регулируют объем выделения тока электронные и магнитные устройства. Сравнительный анализ [37] преимуществ и недостатков вызывает интерес в зависимости от изменений способов регулирования катодной защиты импульсным током.

Одним из основных методов катодной защиты при импульсном типе регулирования является защита от коррозии импульсами напряжения высокой частоты. В первый раз ученые Г. Киппс и Т.М. Донекуан в 1969 году описали способы катодной защиты металлических строений [38]. Далее предложили определять катодную защиту при предоставлении электрических импульсов высокого напряжения 100-300 В с минимальной продолжительностью 5-100 мкс [39].

2.4 Определение оптимальных режимов работы электрохимической защиты трубопроводов

Методики расчета оптимальных режимов работы разрабатываются, чтобы получить данные о состоянии непрерывного контроля, анализа и моделирования. Оптимизации режима работы СКЗ является одним из наиболее актуальных вопросов в данной области. То же самое можно сказать и про компенсирующие мероприятия.

Степень защиты газопровода определяется согласно целым рядом факторов. Одним из наиболее важных факторов является исходное состояние антикоррозионного покрытия, а также параметры и характеристики того материала, из которого оно изготовлено. Нельзя забывать и о том, что грунт – многокомпонентная динамичная система, которая способна вступать в физико-химическое взаимодействие с металлом, что приводит к негативному влиянию состояние газопровода. Агрессивность грунта тесно связано с электрическим сопротивлением – согласно ГОСТ 9.602-2005 его сопротивления варьируется в полевых условиях.

Переходное сопротивление является ключевым показателем качества противокоррозионного покрытия, учитывающее появление дефектов и старение покрытия. В течение всего времени эксплуатации необходимо обеспечивать непрерывную защиту. Так как условия пролегания могут изменяться с эксплуатационными параметрами, то значение защитного потенциала колеблется в пределах значений соответствующие ГОСТ Р51164-98. Станции катодной защиты подлежат эксплуатации согласно

					Объекты и методы исследования	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

оптимальным режимам, которые устанавливаются посредством расчетных методов. При расчете требуется учитывать ряд факторов, например, токи, которые появляются в земле в том случае, если она используется как проводящая среда. Такие токи принято называть блуждающими. Кроме того нужно учитывать разрушения, инициированные посредством микроорганизмов, то есть биокоррозии.

Чтобы учесть различные неоднородности параметров газопровода, необходимо использовать советующую методику расчета, например, расчет по методу конечных элементов [40,41,42]. Данный метод также учитывает параметры АКП и условия окружающей среды

Рисунок 2.5 Иллюстрирует как газопровод разбивается на отдельные участки защищаемой зоны установки катодной защиты (УКЗ).

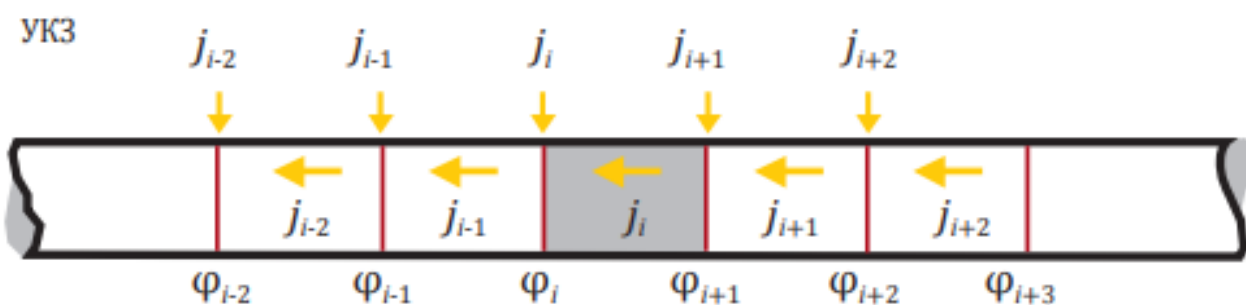


Рисунок 2.5 – Схематическое изображение участка защищаемой зоны УКЗ [42]

На рисунке выделено несколько участков газопровода. Каждый из участков обладает одинаковой длиной ΔL и обозначается как $i-2$, $i-1$, i , $i+1$, $i+2$ и так далее. Под J следует понимать ток, который протекает вдоль трубы от анода УКЗ и поперек защитной зоны.

При малых значениях длины трубы можно считать разность защитного потенциала на грунте над трубой равной разности потенциала на трубе.

Воспользовавшись законом Ома, запишем:

$$J_i = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{R_{T,i} \Delta L}, \quad (2.4)$$

$$J_{i-1} = \frac{\varphi_i - \varphi_{i-1}}{R_{T,i-1} \Delta L}, \quad (2.5)$$

$$j_i = \frac{-\varphi_i \Delta L}{0,5 (R_{п,i-1} + R_{п,i})}, \quad (2.6)$$

где $R_{m,i}$ – продольное сопротивление на i -ом участке, Ом/м;

φ_i – защитный потенциал за вычетом естественного потенциала трубы, В;

$R_{n,i}$ – переходное сопротивление антикоррозионного покрытия на элементе с i -м номером, Ом·м;

i – номер участка трубы.

Уравнение Кирхгофа:

$$j_i = j_{i-1} - j_i. \quad (2.7)$$

Теперь воспользуемся записанными ранее записями (2.4-2.6), подставив их в уравнение Кирхгофа (2.7). В результате получаем следующий результат:

$$\varphi_i = \frac{\frac{\varphi_{i-1}}{R_{T,i-1} \Delta L} + \frac{\varphi_{i+1}}{R_{T,i} \Delta L}}{\frac{1}{R_{T,i-1} \Delta L} + \frac{1}{R_{T,i} \Delta L} + \frac{1}{R_{п,i-1} + R_{п,i}}}. \quad (2.8)$$

Исходя из рисунка 2.5, нетрудно предположить, что число уравнений, идентичных приведенному (2.8), равно числу узлов i , каждый из которых обладает своим потенциалом φ_i .

Потенциалы φ_i определяют граничные условия. Их значения могут изменяться в ту или иную сторону с целью оптимизации параметров СКЗ. По достижению требуемой точности вычислений расчет заканчивается.

Расчет предполагает, что в качестве исходных данных задается продольное сопротивление трубы $R_{m,i}$ на i -м участке. С одной стороны величину сопротивления можно оценить исходя из комплексного обследования коррозионного состояния МН, с другой стороны его можно определить по следующей формуле [43]:

$$R_{T,i} = \frac{\rho_{T,i}(1 + \beta_{20}(t_c + 20))}{\pi(D_{T,i} \cdot 10^3 - \delta_{T,i})\delta_{T,i}}, \quad (2.9)$$

где $\rho_{T,i}$ – удельное сопротивление материала трубопровода, Ом·мм²/м;

					Объекты и методы исследования	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

β_{20} – коэффициент электрического сопротивления металла (стали) при температуре 20 °С, $1/^\circ\text{C}$;

t_c – предельно-допустимая температура стенки трубы, °С;

$D_{m,i}$ – диаметр трубы, м;

$\delta_{m,i}$ – толщина стенки трубы, мм;

i – элемент трубы длиной ΔL .

Переходное сопротивление АКП трубы на i -м элементе $R_{n,i}$ в свою очередь рассчитывается как [44]:

$$R_{n,i} = \frac{R_{из,i} + R_{p,i}}{\pi D_{т,i}}, \quad (2.10)$$

где $R_{из,i}$ – сопротивление АКП трубопровода на момент измерений (исходные данные), $\text{Ом}\cdot\text{м}^2$;

$R_{p,i}$ – сопротивление растеканию трубопровода, $\text{Ом}\cdot\text{м}^2$.

Для нахождения сопротивления растекания трубопровода $R_{p,i}$ используют формулу [43]:

$$R_{p,i} = \frac{\rho_{г,i} D_{т,i}}{2} \ln \left(\frac{0,4\pi R_{p,i}}{D_{т,i}^2 H_{т,i} R_{т,i}} \right), \quad (2.11)$$

где $\rho_{г,i}$ – удельное сопротивление грунта, $\text{Ом}\cdot\text{м}$;

$H_{m,i}$ – глубина залегания трубы, м.

Далее найдем зону действия УКЗ – это необходимо, чтобы определить суммарную величину токов СКЗ нужно. Будем использовать выражение, которое характеризует изменения потенциала при удалении от точки дренажа УКЗ [42]:

$$\varphi(x) = \varphi_{укз} \exp(-a \cdot x), \quad (2.12)$$

где $\varphi_{укз}$ – защитный потенциал в точке дренажа УКЗ, В;

a – коэффициент затухания, $1/\text{м}$;

x – координата по трубе, м.

Теперь выразим среднее значение постоянной распространения тока между УКЗ № 1 и №2 как $a = \left(\frac{1}{M}\right)$. Такая запись справедлива в том случае,

					Объекты и методы исследования	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

если УКЗ № 1 обладает потенциалом имеет φ_1 в точке дренажа, а УКЗ № 2 – потенциал φ_2 . Таким образом, найдем координаты равенства защитного потенциала в виде:

$$\varphi_1 \exp(-\bar{a}(x - N_1)\Delta L) = \varphi_2 \exp(-\bar{a}(N_2 - x)\Delta L). \quad (2.13)$$

N_1 и N_2 здесь означают индексы координат данныхх УКЗ, а под x обозначены соответствующие координаты.

Таким образом, выразим x следующим образом:

$$x = 0,5 \left(N_1 + N_2 - \frac{\ln(\varphi_1/\varphi_2)}{\bar{a}\Delta L} \right). \quad (2.14)$$

Под α в данном случае подразумевается среднее значение коэффициента затухания, которое наблюдается между узлами N_1 и N_2 . Найти его можно следующим образом:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{N_1}^{N_2} a_i}{N_2 - N_1}, \quad (2.15)$$

причем $a_i = \sqrt{\frac{R_{T,i}}{R_{T,i}}}$.

Далее определяется ток УКЗ, для чего суммируются токи j_i , которые протекают от анода к каждому i -му элементу трубы в пределах зоны действия:

$$I_{\text{укз}} = \sum_{i=N_{\text{лв}}}^{N_{\text{укз}}} \frac{\varphi_i \Delta L}{R_{\text{п},i}} + \sum_{i=N_{\text{укз}}}^{N_{\text{пр}}} \frac{\varphi_i \Delta L}{R_{\text{п},i}}. \quad (2.16)$$

Под $N_{\text{лв}}$ и $N_{\text{пр}}$ подразумеваем индексы координат левой и правой части зоны действия УКЗ соответственно:

$N_{\text{укз}}$ – индекс координаты (узла точки дренажа) УКЗ;

φ_i – потенциалы на узлах конечно-элементной сетки, найденные из (2.8).

Умножив $I_{\text{укз}}$ на суммарного сопротивление УКЗ, определим требуемый уровень напряжения для антикоррозионного эффекта:

$$U_{\text{укз}} = I_{\text{укз}} \left(R_{\text{дк}} + R_{\text{ак}} + R_{\text{а}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{лз}}} + \frac{1}{R_{\text{пз}}}} \right), \quad (2.17)$$

где $R_{\text{дк}}$, $R_{\text{ак}}$ и $R_{\text{а}}$ – сопротивления дренажного, анодного кабелей и сопротивление растеканию тока анода соответственно. Последняя составляющая сопротивления задается в качестве исходных данных.

Эквивалентные сопротивления левой и правой частей зоны действия УКЗ обозначаются как $R_{\text{лз}}$ и $R_{\text{пз}}$. Поскольку продольное сопротивление $R_{\text{T},i}$ существенно меньше (примерно на 7–10 порядков), то справедливо записать:

$$R_{\text{лз}} = \frac{1}{\sum_{i=N_{\text{лз}}}^{N_{\text{укз}}} \frac{1}{\frac{R_{\text{п},i}}{\Delta L} + \sum_{j=i}^{N_{\text{укз}}} (\Delta L \cdot R_{\text{T},j})}}, \quad (2.18)$$

$$R_{\text{пз}} = \frac{1}{\sum_{i=N_{\text{укз}}}^{N_{\text{пз}}} \frac{1}{\frac{R_{\text{п},i}}{\Delta L} + \sum_{j=N_{\text{укз}}}^i (\Delta L \cdot R_{\text{T},j})}}. \quad (2.19)$$

По сути $R_{\text{лз}}$ и $R_{\text{пз}}$ представляют собой суммы параллельно соединенных переходных сопротивлений $R_{\text{п},i}$ трубы и соответствующих продольных сопротивлений $R_{\text{n},j}$ участков трубы от точки дренажа УКЗ до i -х узлов левой и правой частей зоны действия УКЗ.

Длину дренажного кабеля обозначим как $L_{\text{д}}$, анодного – $L_{\text{а}}$. Соответствующие им площади сечения будем обозначать как $S_{\text{д}}$ и $S_{\text{а}}$.

Тогда сопротивления дренажного и анодного кабелей можно найти как:

$$R_{\text{дк}} = \frac{\rho_{\text{д}} \cdot L_{\text{д}}}{S_{\text{д}}}, R_{\text{ак}} = \frac{\rho_{\text{а}} \cdot L_{\text{а}}}{S_{\text{а}}}, \quad (2.20)$$

где $\rho_{\text{д}}$ и $\rho_{\text{а}}$ – удельное сопротивление дренажного и анодного кабелей соответственно, Ом·мм²/м.

Следовательно, справедливо утверждать, что главным электрическим параметром СКЗ является их ток. В свою очередь ток определяется основными параметрами трубопровода, АКП трубы и внешней среды. Именно величина тока (или соответствующие защитные потенциалы) обеспечивает уровень защиты, который необходим для предотвращения коррозии трубопровода.

Что касается напряжения СКЗ и потребляемой мощности, то они рассматриваются как второстепенные параметры – они определяются соответствующими сопротивлениями УКЗ и трубопровода.

Таким образом, оптимальные режимы работы СКЗ системы ЭХЗ магистральных трубопроводов должны определяться исходя из результатов данного расчета.

Задача выбора оптимальных режимов работы в каком-то смысле можно свести к минимизации значения функционала:

$$F(\varphi_{укз,1}, \dots, \varphi_{укз,i}, \dots, \varphi_{укз,n}) = \sum_{i=1}^n I_{укз,i}(\varphi_{укз,i}), \quad (2.21)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \varphi_{min} < \varphi_i < \varphi_{max}, \\ I_{укз,i}(\varphi_{укз,i}) < I_{укз\ max}, \\ U_{укз,i}(\varphi_{укз,i}) < U_{укз\ max}, \\ i = 1, 2 \dots n. \end{aligned}$$

Под $\varphi_{укз,i}$ имеется в виду защитные потенциалы за вычетом естественного потенциала установленных СКЗ в точках дренажа (варьируемые переменные), В:

φ_i – защитные потенциалы за вычетом естественного потенциала в узлах конечно-элементной сетки, В; а минимальные и максимальные защитные потенциалы обозначены φ_{min} , φ_{max} (как и указано выше, естественный потенциал сюда не входит);

$I_{укз,i}(\varphi_{укз,i})$ и $U_{укз,i}(\varphi_{укз,i})$ – токи и напряжения установленных СКЗ;

$I_{укз\ max}$ и $U_{укз\ max}$ – допустимые значения токов и напряжений СКЗ.

Так как аналитическое выражение для функционала (2.21) отсутствует, оптимизационная задача может быть решена численными методами с применением персональных компьютеров.

В частности можно использовать среду Mathcad [6]. Для поиска оптимального значения функционала в программном обеспечении Mathcad 15.0 используется численный метод сопряженных градиентов для

нелинейных функций или альтернативные методы Левенберга – Марквардта и квази-Ньютона (реализуется в программном обеспечении Mathcad 15.0 с использованием встроенной функции «Minimize»).

Метод сопряженных градиентов является развитием метода наискорейшего спуска. Направление, в котором ищется минимум, в этом методе выбирается как линейная комбинация градиента в текущей точке и предыдущего направления поиска:

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k, d_{k+1} = -g_{k+1} + \beta_k d_k. \quad (2.22)$$

Выбор параметра α осуществляется посредством минимизации $f(x_k + \alpha_k d_k)$. Чтобы найти параметр β используют различные формулы, каждая из которых соответствует отдельному алгоритму так называемого метода сопряженных градиентов – это обеспечивает накопление информации о локальной кривизне функции, информация сохраняется в векторе, задающем направление поиска.

Разумеется, чем выше производительность ПК (мощность процессора), тем быстрее будет завершён расчет. Скорость операций также определяется выбранным шагом дискретизации, заданной точностью, а также количеством УКЗ и протяженностью трубопровода.

Защитного заземления необходимо учитывать при нахождении полного тока:

$$I_{\Sigma \text{укз},i}(\varphi_{\text{укз},i}) = I_{\Sigma \text{укз},i}(\varphi_{\text{укз},i})/\alpha, \quad (2.23)$$

где α – доля общего тока катодного преобразователя, используемого по основному назначению [45].

Если необходимо, данный расчет может быть произведен для магистрального трубопровода – для этого следует считать отдельно каждый трубопровод, что может быть необходимо в случае совместной катодной защиты для параллельных трубопроводов. В этом случае $I_{\text{укз}}$, то есть ток для защиты i -го трубопровода находится как:

$$I_{\text{укз}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{укз},i}. \quad (2.24)$$

Количество защищаемых трубопроводов обозначается буквой n .

					Объекты и методы исследования	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Примечательно, программа для анализа работы системы УКЗ может быть получена за счет исключения блока оптимизации из расчетной программы.

В результате определение оптимальных режимов работы СКЗ включается в себя следующие этапы:

1) Сбор первичных данных и их анализ для оценки объектов трубопровода:

- коррозионная агрессивность грунта;
- коррозионное состояние объектов трубопровода;
- основные параметры защищаемых объектов газопровода;
- средства электрохимической защиты газопровода.

2) Моделирование процессов функционирования СКЗ и оптимизация режимов их работы.

3) Анализ результатов выработки и моделирование рекомендаций эффективной защиты объектов от коррозии.

					Объекты и методы исследования	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Глава 3. Контроль защищенности магистрального газопровода

3.1 Статистические методы контроля параметров для станций катодной защиты

Технический проект электрохимической защиты трубопровода является актуальной темой для газотранспортных систем [46]. Согласно [47] СКЗ должны обеспечивать необходимую степень потенциальной защиты. Чтобы получить определенный уровень качества протекания процесса транспортировки нефти и газа, необходим определенный устойчивый защиты. Одной из основных задач мониторинга является достижение статистически стабильного состояния процессов, приводящий к надежности [48].

Эксплуатация нефтегазового комплекса происходит в различных условиях с изменяющейся коррозионной активностью [49]. В связи с этим проблема повышения эффективности мониторинга электрохимической защиты является актуальной. Статистические методы обработки данных в сочетании с существующими инструментальными методами исследования позволят проводить более тщательный анализ и улучшение электрохимической защиты [50,51].

Целью данного исследования является применение статистических методов для улучшения мониторинга станций катодной защиты. Целью раздела является выявление изменений значений защитного потенциала. Исследование посвящено выбору критериев обеспечения и поддержания электрохимической защиты на приемлемом и стабильном уровне, гарантирующем соответствие установленным требованиям [47,52].

На работу станций катодной защиты влияют различные внешние воздействия, и по этой причине характеристики процесса могут быть описаны главным образом статистическими методами.

					Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Копырин К.П.			Контроль защищенности магистрального газопровода	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарцдина О.Н.					41	139
Консульт.						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
Рук-ль ООП		Щадрина А.В.						

Пределы контроля определяются в предположении, что процесс стабилен при условии нормального распределения. Если процесс удовлетворяет требованиям стабильности, то он считается контролируемым и называется контрольными картами Шухарта.

Диапазон, определяемый двумя пределами относительно центральной линии (CL), среднего значения набора данных стабильного состояния [53]:

- UCL – верхний контрольный предел,
- LCL – нижний контрольный предел.

Такие ограничения, как UCL и LCL, определяются как кратные стандартному отклонению нормального распределения вероятностей случайных величин процесса от ожидаемого значения.

В зависимости от принятого множественного значения размер ограничений составляет:

$$UCL = \mu + k \cdot \sigma, \quad (3.1)$$

$$LCL = \mu - k \cdot \sigma, \quad (3.2)$$

где: μ – среднее значение набора данных в статистически стабильном состоянии;

σ - стандартное отклонение для статистически стабильного состояния;

k – постоянная пределов оповещения.

Значения k используются в качестве специальных пределов, так называемых пределов оповещения (пределов внутреннего контроля), независимо от UCL и LCL, которые определены как внешние. В большинстве контрольных диаграмм контрольные пределы, а также точки на диаграмме касаются не только отдельных измерений, но и средних значений n -элементного процесса.

Контрольная диаграмма Шухарта – это графический способ представления информации, основанный на последовательности процесса. Эти графики позволяют контролировать стабильность стандартного отклонения измеряемых параметров. Это происходит, когда измерения повторяются для системы мониторинга.

					Контроль защищенности магистрального газопровода	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Метод контрольной диаграммы помогает определить, действительно ли процесс достиг статистически контролируемого состояния. Необходимо сохранять контроль и высокую степень однородности измерительных характеристик путем записи информации во время операций.

В качестве объектов исследования являются подземные магистральные газопроводы. Защитный потенциал был получен из анализа коррозионного периодического обследования для объектов в качестве параметра мониторинга за три года. На рисунке 3.2 приведен длительный замер потенциала на установке катодной защиты в течение 24 часов.

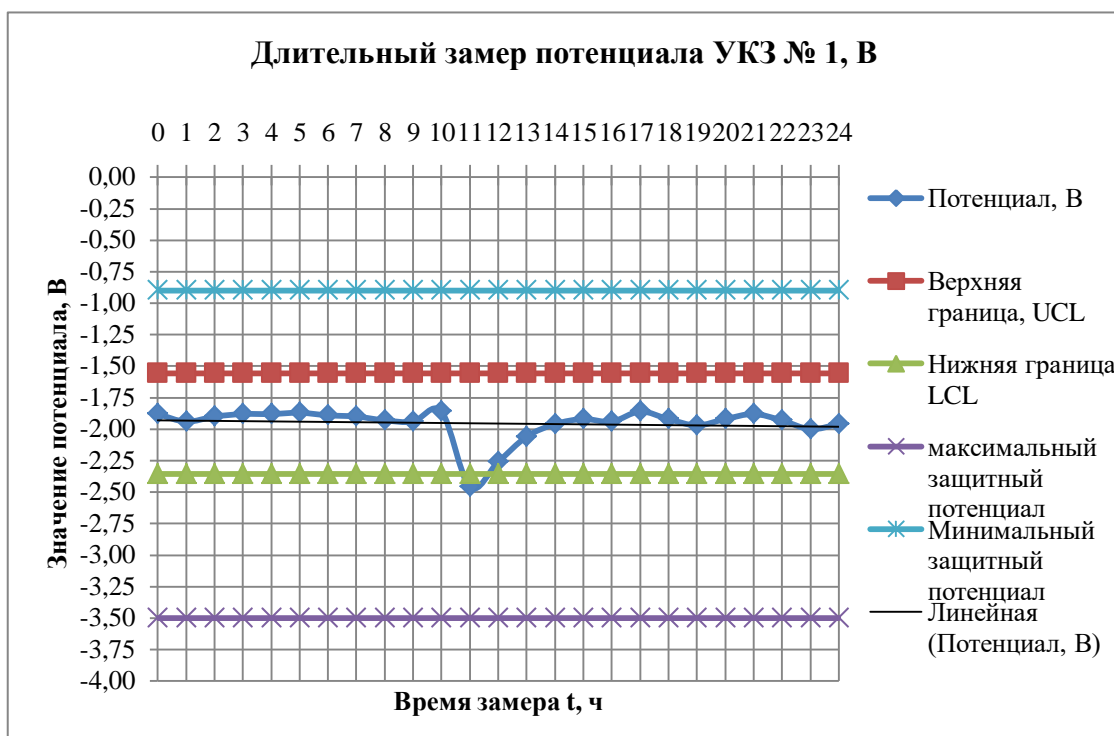


Рисунок 3.2 – Контрольная карта Шухарта по полученным данным из УКЗ №1.

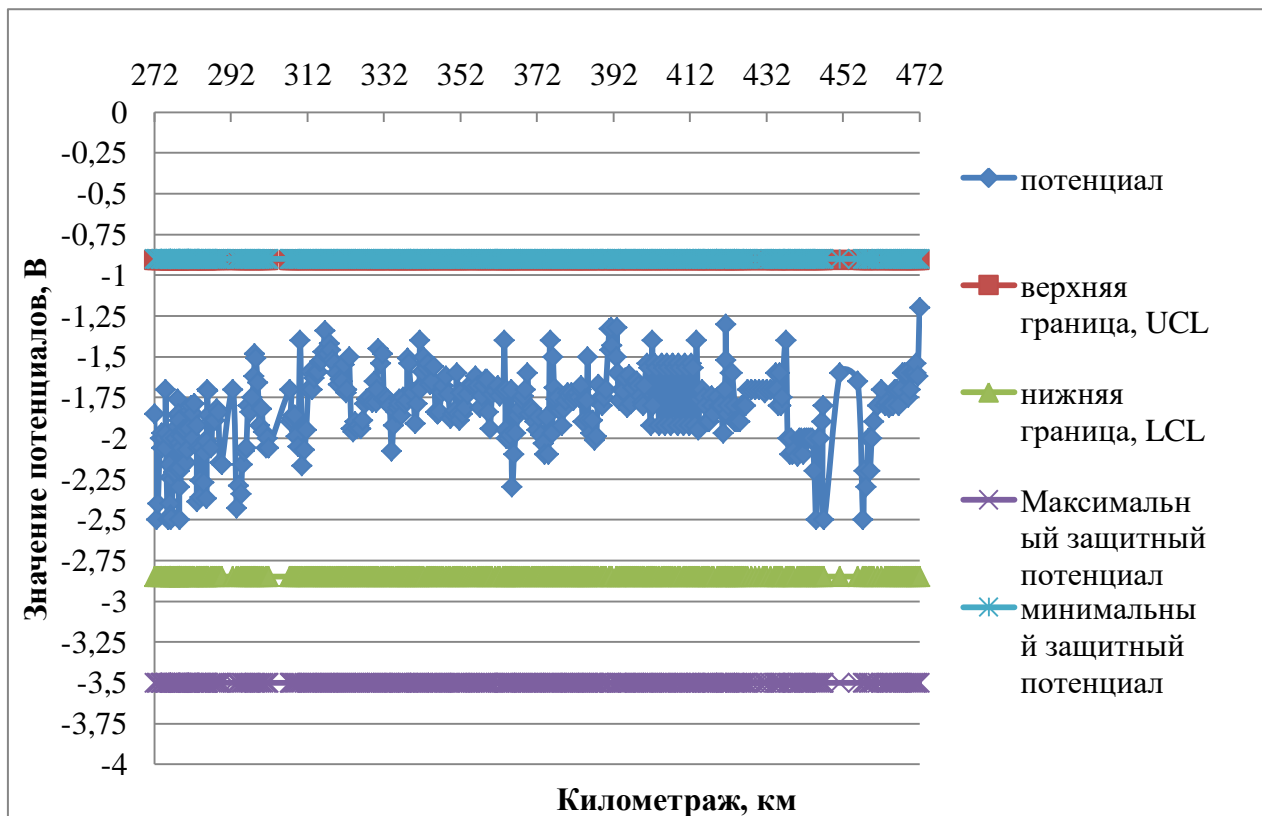


Рисунок 3.3 – Контрольная карта станции КЗ в 2017г.

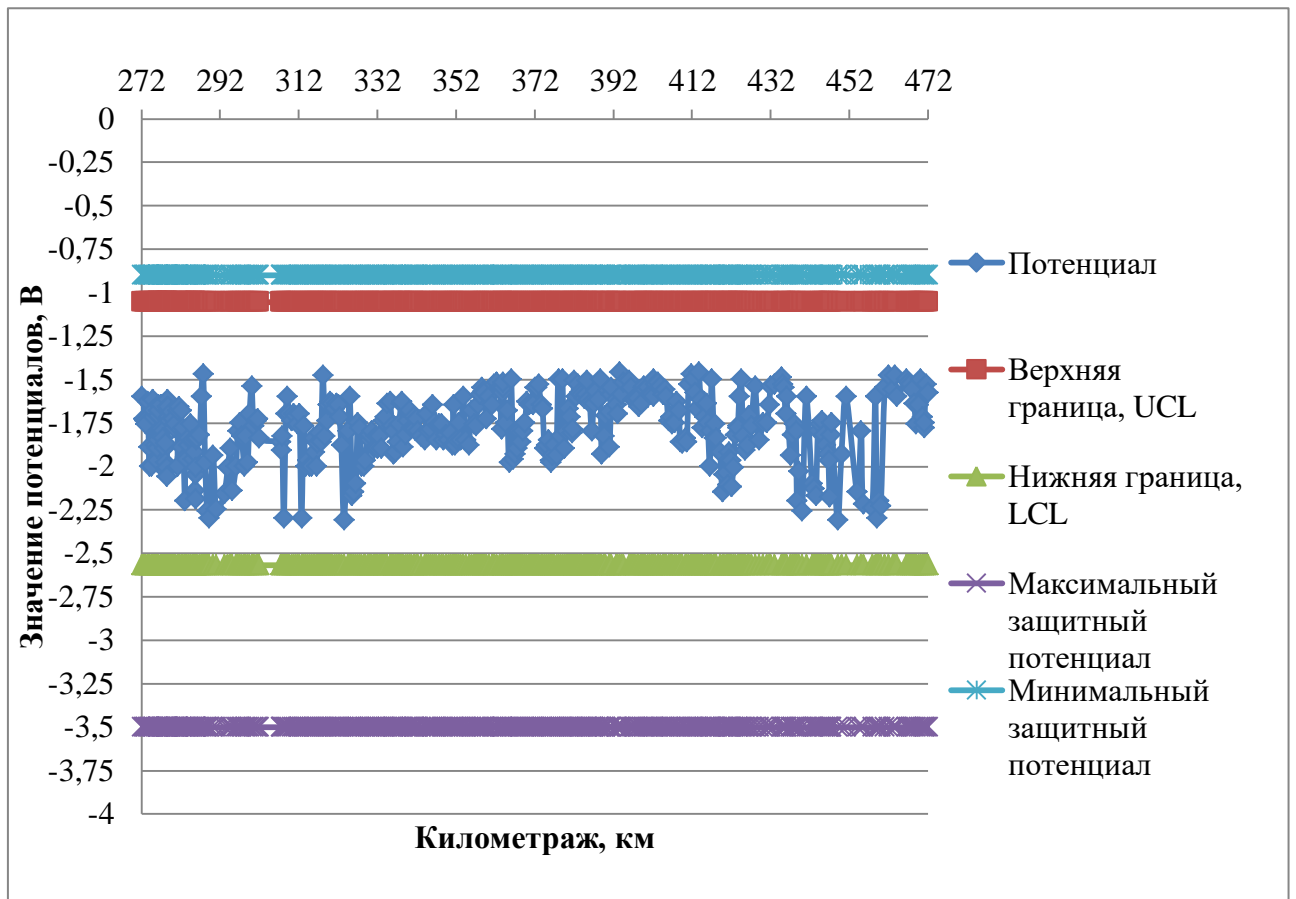


Рисунок 3.4 – Контрольная карта станции КЗ в 2018г.

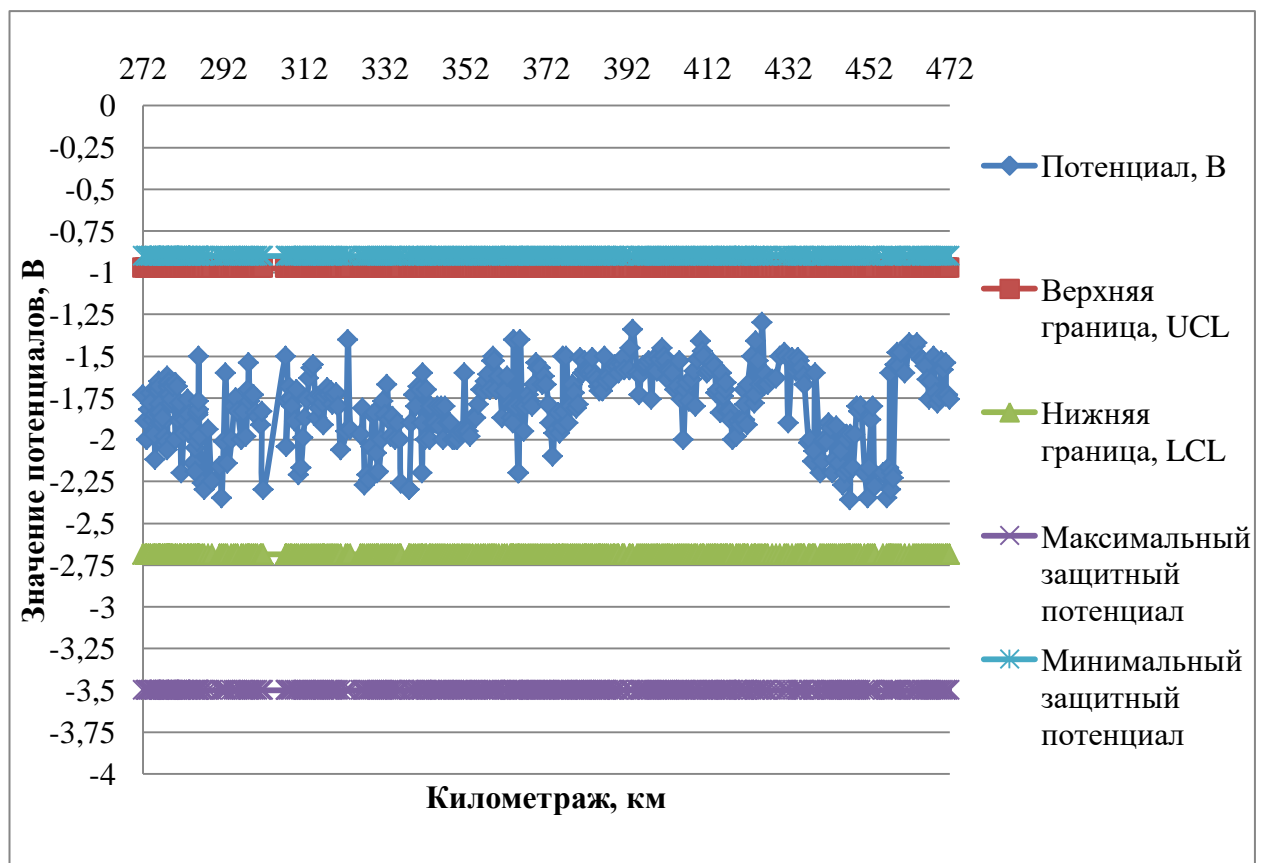


Рисунок 3.5 – Контрольная карта станции КЗ в 2019г.

Процесс электрохимической защиты предполагает ингибирование коррозии на поверхности трубопровода. В этом случае защитный потенциал смещается в отрицательную сторону согласно общепринятому критерию КЗ [50,54].

Исходя из этого, потенциал поляризации может быть использован в качестве основного критерия безопасности в различных средах при описании электрохимической защиты стальных конструкций [50,55].

В данном исследовании анализ экспериментальных данных о работе станций КЗ проводился путем построения контрольных карт Шухарта на основе измерений защитного потенциала каждый год в течение 3 лет (рисунок 3.2, рисунок 3.3, рисунок 3.4, рисунок 3.5). На этих графиках нет предупреждений ввиду того, что пределы действия $\pm 3\sigma$ не превышают защитный потенциал E в течение периода времени, где N – номер измерения. Процесс КЗ находится в статистически стабильном состоянии и не нуждается в исправлениях.

Далее рассмотрим влияние блуждающих токов на процесс КЗ участка газопровода. Эти токи возникают в присутствии наэлектризованных объектов. На рисунках 3.6, 3.7, 3.8 показаны мониторинги станции КЗ в случае возникновения блуждающих токов. В этом случае случайные токи были вызваны электропоездом в течение короткого периода времени. Основными особенностями статистически нестабильного состояния являются отклонения от пределов действия. Можно заметить, что превышение защитной потенциальной линией $UCL \pm 3\sigma$ означает дерегуляцию стабильности КЗ (рисунок 3.6, 3.7, 3.8). Это наиболее неблагоприятная ситуация, превышения линии LCL , поскольку защитный потенциал смещается в отрицательную сторону. Этот случай показывает, что расписание электропоезда должно быть принято во внимание, и, если это необходимо, следует предусмотреть изменения КЗ.

					Контроль защищенности магистрального газопровода	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

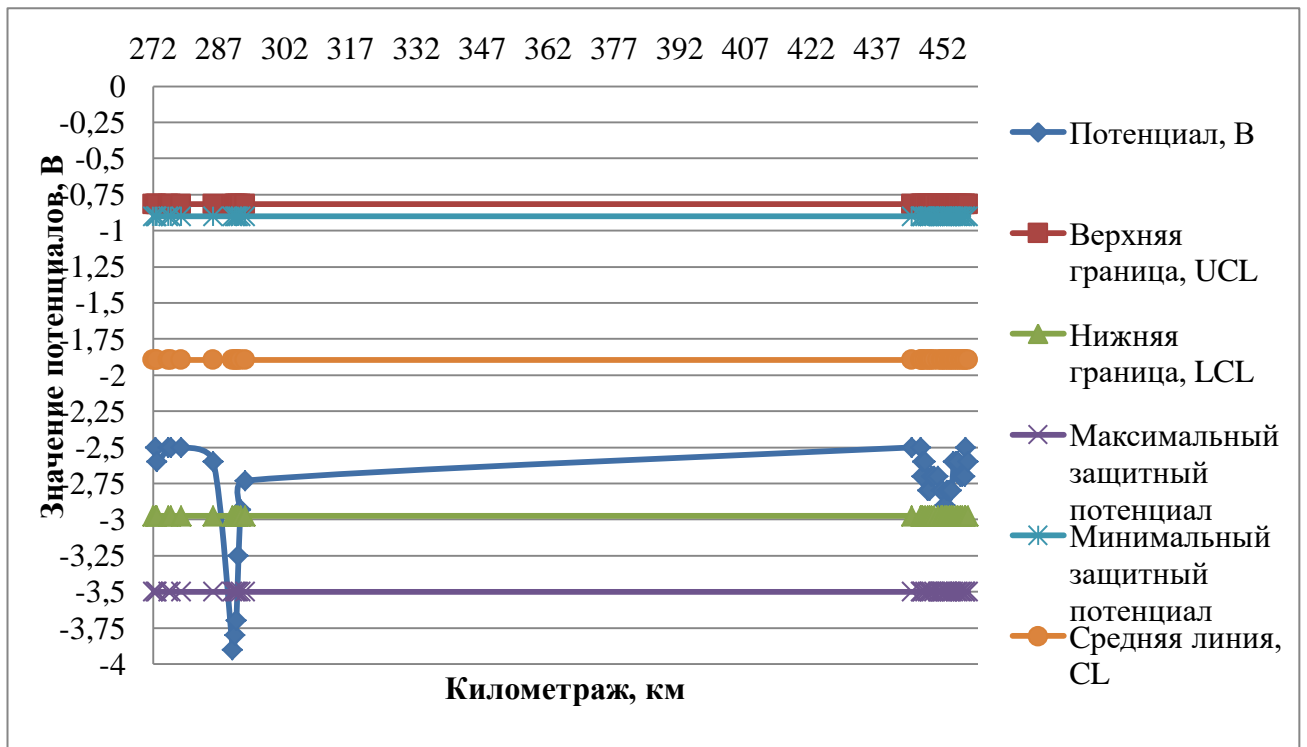


Рисунок 3.6 – Схема управления станцией КЗ в режиме работы под воздействием блуждающих токов 2017г.

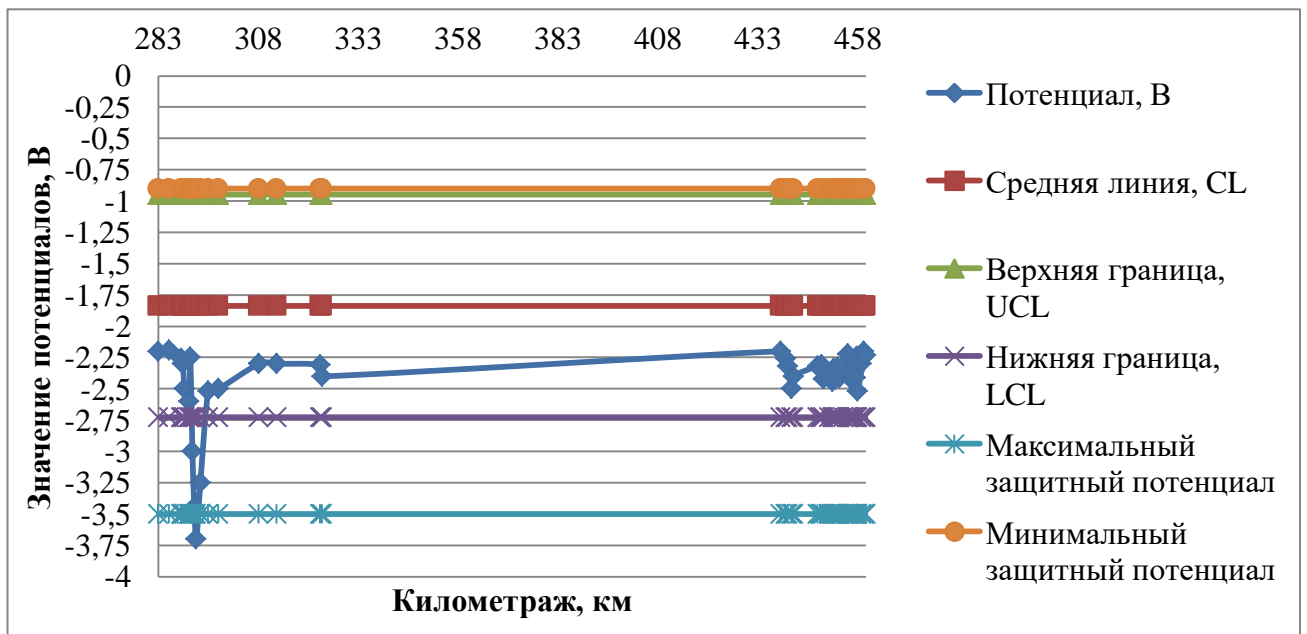


Рисунок 3.7 - Схема управления станцией КЗ в режиме работы под воздействием блуждающих токов 2018г.

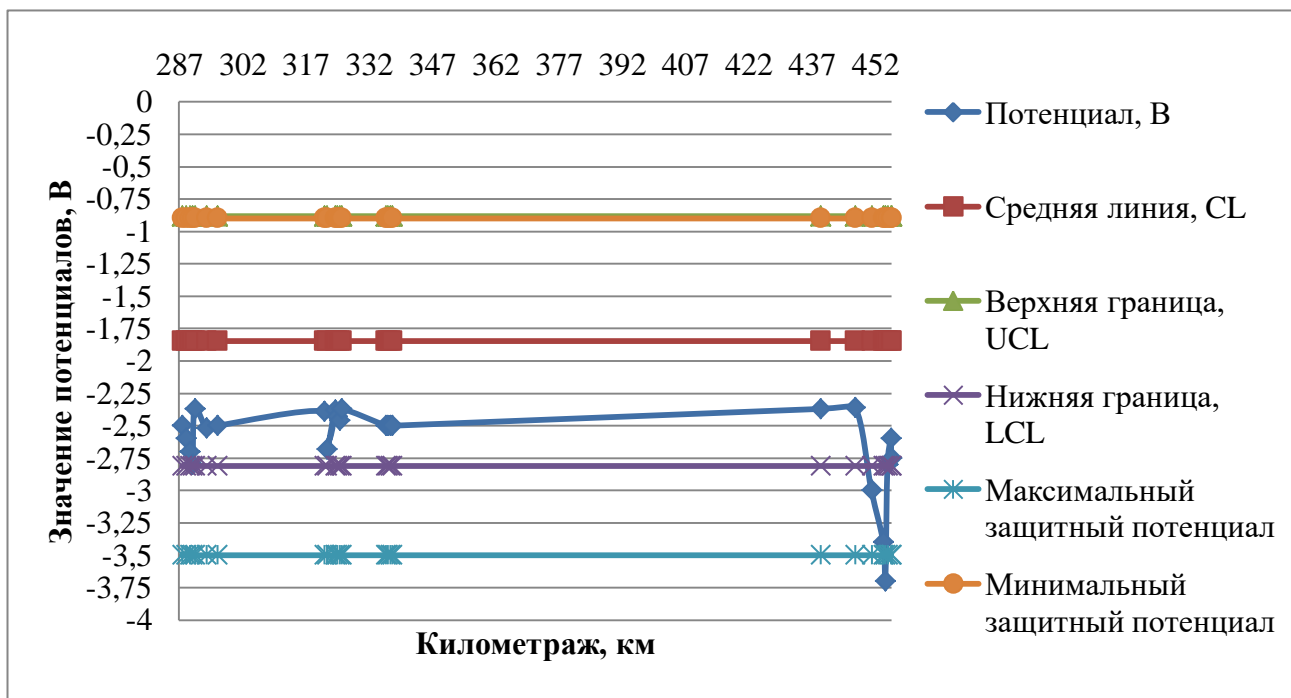


Рисунок 3.8 – Схема управления станцией КЗ в режиме работы под воздействием блуждающих токов в 2019г.

На основании полученных данных удалось получить представление о возможности использования статистических контрольных карт для работы станции КЗ. Это дает объективное представление о возможностях и производительности процессов и способности соответствовать требованиям. Этот метод также подходит для указания статистических причин нестабильности и, таким образом, направляет операцию на улучшение процесса.

Результаты показывают, что работа станции КЗ была статистически стабильной. При наличии блуждающих токов процесс КЗ не находился в состоянии статистического контроля $\varphi_i > \varphi_{max} = -3,9$ В, $\varphi_i > \varphi_{max} = -3,7$ В, $\varphi_i > \varphi_{max} = -3,7$ В. Отсюда следует, что параметры КЗ должны быть скорректированы.

Таким образом, рекомендуется использовать статистические методы для мониторинга работы станций катодной защиты по защитному потенциалу с критерием 3σ .

3.2 Разбор методики оптимизации работы средств электрохимической защиты

Имеющиеся методики по оптимизации режима работы большей частью направлены на локализованные объекты. На промышленных площадках поле токов неоднородно, в соответствии с этим, существующие методики рассматриваются как система точек, в которых производится измерение защитного потенциала [56].

На нескольких точках трубопровода находится коэффициент зависимости защитной разности потенциалов от значения силы тока работающих на небольшом удалении друг от друга. Нахождение коэффициентов влияния осуществляется методом регрессионного анализа.

Исследования проводились на производственной площадке, располагающейся на территории со смешанным типом грунтов. Система линейных уравнений описывает зависимость изменения защитной разности потенциалов в точках значения силы тока станций катодной защиты [57, 58]:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= A_{01} + A_{11}I_1 + A_{21}I_2 + \dots + A_{i1}I_n, \\ \varphi_2 &= A_{02} + A_{12}I_1 + A_{22}I_2 + \dots + A_{i2}I_n, \\ \varphi_k &= A_{0k} + A_{1j}I_1 + A_{2j}I_2 + \dots + A_{ij}I_n,\end{aligned}\tag{3.3}$$

где φ_i – разность потенциалов i -ой точки на участке трубопровода, $i = 1; 2; \dots k$;

I_j – ток j -ой станции катодной защиты, $j = 1; 2; \dots n$;

A_{ij} – коэффициент влияния n -ой станции катодной защиты на суммарную разность потенциалов в точке измерения.

Система уравнений для количества точек k и СКЗ n штук позволяет решать задачи по регулированию тока УКЗ с определением оптимального режима. В известных методиках по оптимизации режима работы СКЗ сводится к минимизации мощности на выходе [59].

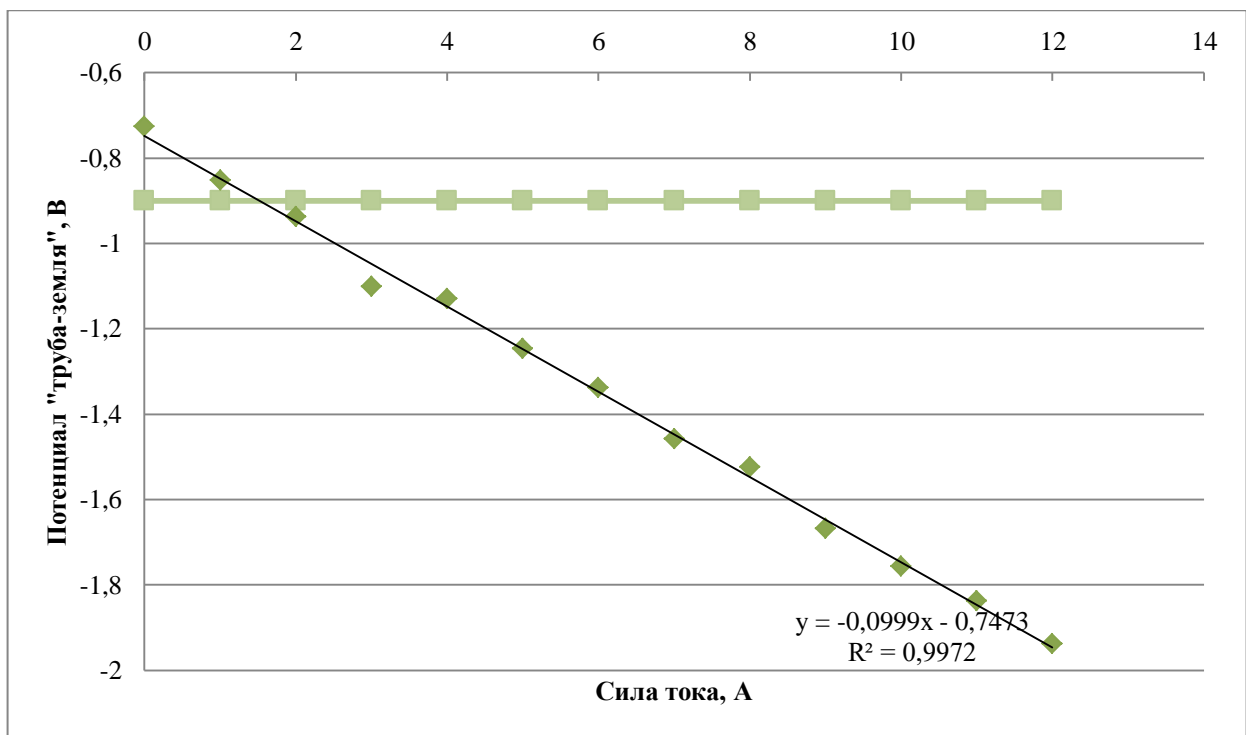


Рисунок 3.9 – Изменение значения потенциала при росте силы тока

При расчете значений потенциалов необходимо соблюдать ограничения разности потенциалов, значения которых прописаны в нормативном документе [17]. Значения силы тока были взяты с эксплуатирующих СКЗ, находящиеся на 292 и 352 километрах. Первоначально необходимо определить коэффициенты влияния станций катодной защиты по величине защитного потенциала. Этот коэффициент численно равен значению деполяризации и собственного защитного потенциала трубопровода в случае выключения всех влияющих станций. Коэффициент влияния зависит от среды и металла, в которой находится трубопровод.

Аппроксимация в данном случае равняется 0,9972 с зависимостью:

$$\varphi_1 = -0,0999 \cdot I_1 - 0,7473. \quad (3.4)$$

Одна из станций катодной защиты включена для проведения эксперимента, а также определяем значение защитного потенциала при увеличении силы тока с шагом 1 А (рисунок 3.9)

В соответствии с измерениями были найдены значения:

$$A_{01} = -0,7473 \text{ В}; A_{11} = -0,0999 \text{ В}.$$

Аналогичным образом рассчитываем коэффициенты для других СКЗ, расположенных между 352 и 399 километрами.

Таблица 3.1 – Значения защитных потенциалов на четырех СКЗ

СКЗ-2	A_{02}	A_{12}	φ_2
	-0,3597	-0,1128	-0,9237
СКЗ-3	A_{03}	A_{13}	φ_3
	-0,6813	-0,1006	-1,1843
СКЗ-4	A_{04}	A_{14}	φ_4
	-0,6372	-0,109	-1,1822
СКЗ-5	A_{05}	A_{15}	φ_5
	-0,5593	-0,1172	-1,1453

Далее задаем значение защитного потенциала в пределах указанных в [17], соответствующее каждой точке измерения. Так как станции катодной защиты эксплуатируются на длительный период времени, то используется защитный потенциал с омической составляющей. Для трубопроводов с полимерной изоляцией защитный потенциал находится в пределах от минус 0,9 В до минус 3,50 В.

По полученным данным можно составить диаграмму влияния защитного потенциалов на совместную работу СКЗ.

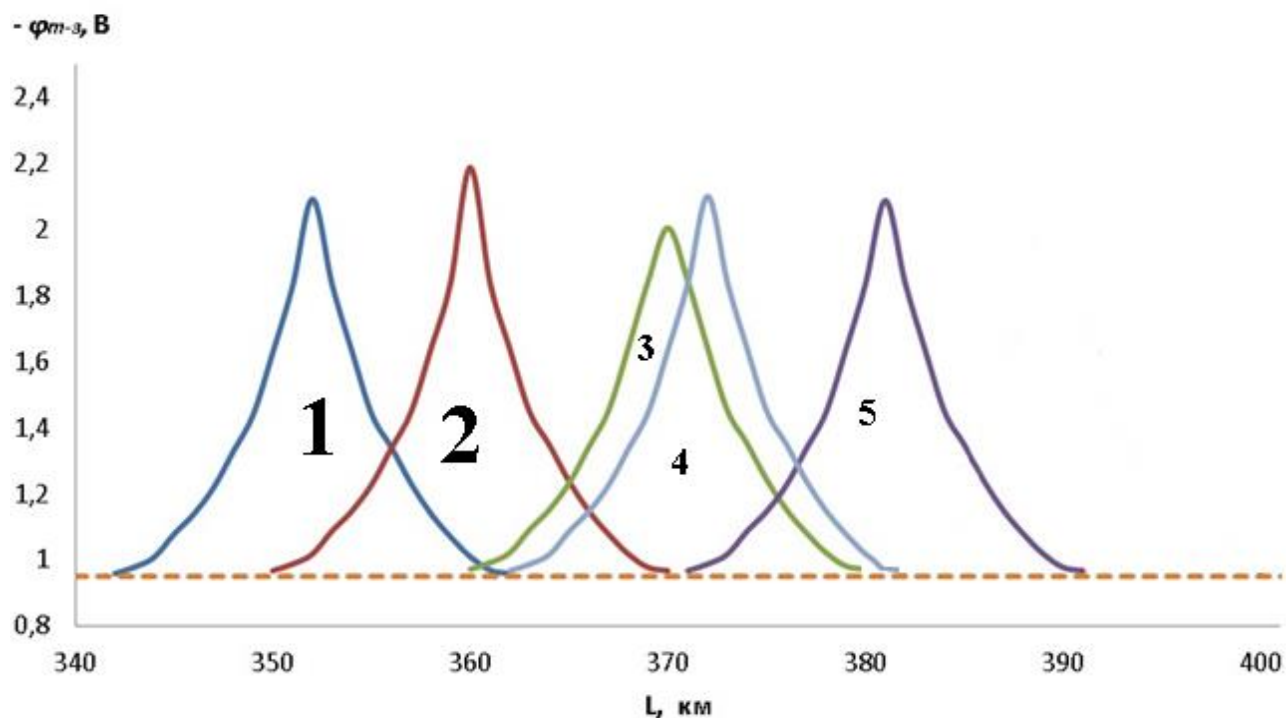


Рисунок 3.10 – Схема распространения защитного потенциала электрохимической защиты на пяти СКЗ

Полагаясь на предоставленный график можно судить о том, что СКЗ под номерами 3 и 4 работают с практически одинаковым значением защитного потенциала, что говорит о возможности отключения СКЗ-4 для избежания наложения значения потенциала и перерасхода электроэнергии.

Нашли точки пересечения кривых для нахождения аппроксимации и значение перекрытия потенциала.

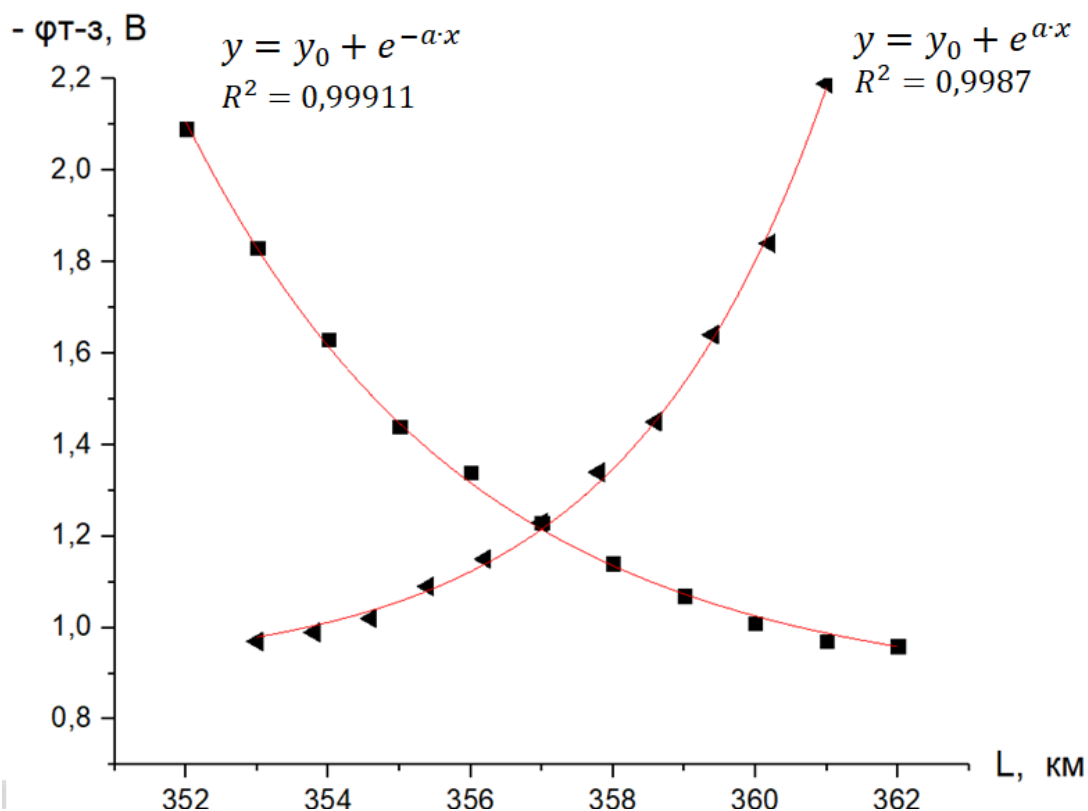


Рисунок 3.11 – Точка пересечения потенциалов двух станций катодной защиты

Произведем расчет электрохимического потенциала, между металлом и грунтом, определяющий локальную плотность защитного тока. Воспользуемся методикой, описанной в [60] и рассчитаем пределы максимального и минимального значения потенциала в зависимости от удаленности от трубопровода:

$$E_3 = C_1 \cdot e^{\frac{a \cdot r}{\sqrt{2}}} + C_2 \cdot e^{-\frac{a \cdot r}{\sqrt{2}}} + \frac{I_{\text{общ}} \cdot \rho_{\text{гр}}}{\pi \cdot r}, \quad (3.5)$$

где E_3 – электрохимический потенциал между металлом и грунтом

C_1, C_2 – константы интегрирования, определяемые из граничных условий;

r – наикротчайшее расстояние до верхней образующей трубы от анода;

a – ослабление защитного потенциала по мере удаления от точки дренажа;

$\rho_{\text{гр}}$ – удельное сопротивление грунта, Ом*м;

$I_{\text{общ}}$ – общий ток, стекающий с анода, А.

Подставив в уравнения найденные ранее значения получаем максимальное значение равное минус 0,975 В и минимальное значение равное минус 4,204 В.

3.3 Модель распределения потенциала по трубопроводу

Деполаризация участка действующего трубопровода может происходить несколько суток. На участок будет оказывать влияние работающая станция катодной защиты, находящаяся на значительном расстоянии от исследуемого участка. Деполаризация трубопровода необходима для нахождения стационарного потенциала, но отключение нескольких станций катодной защиты на длительный срок невозможно.

Для решения подобных задач используется разность потенциалов «труба-земля», которая называется сторонней разностью потенциалов. Основная задача метода заключается в определении коэффициента влияния станций катодной защиты на конкретную точку участка, а также расчет стороннего потенциала, который находится как разница между суммарной разностью потенциалов и совокупность влияния станций катодной защиты. Сделаем предположение, что значение разности потенциалов в определенной точке участка трубопровода приблизительно равняется значению стационарного потенциала.

На основании расчетов проводимых в диссертации [61] было принято решение произвести проверку правильности метода. Для расчета использовались данные действующего магистрального газопровода.

					Контроль защищенности магистрального газопровода	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Глава 4. Расчет и подбор оборудования по полученным значениям

4.1 Расчет электрических характеристик газопровода

Расчет параметров величин электрохимической защиты производится в соответствии с СТО Газпром 9.2 – 003 – 2009.

Основные параметры, которые определяют распределение тока защитного, это электрические характеристики трубопроводов. Существуют первичные и вторичные электрические параметры трубопровода. К первому виду относятся:

- Продольное сопротивление R_t , Ом/м;
- Переходное сопротивление $R_{п}$, Ом·м²;
- Марка стали (труба) – 17ГС;
- Глубина залегания трубопровода H_T , м – 2,5;
- Сопротивление изоляции $R_{из}$, Ом·м² – 300000;
- Толщина стенки δ_T , м – 0,0095;
- Среднее удельное электрическое сопротивление грунта ρ_g , Ом·м.
- Диаметр трубы D_T , м – 1,22;

Некоторые величины, как глубина залегания, марка стали, диаметр трубопровода и толщину стенки выбирают из проектной документации.

Чтобы найти величину сопротивления изоляции, необходимо воспользоваться ГОСТ Р 51164-98 или же смотреть на нижеприведенную таблицу №4.1

					Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Копырин К.П.</i>			<i>Расчет и подбор оборудования по полученным значениям</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Зарцдина О.Н.</i>					55	139
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
<i>Рцк-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

Таблица 4.1 – Сопротивление изоляции строящихся и реконструируемых трубопроводов.

Тип защитного покрытия	Начальное сопротивление изоляции уложенного в траншею и засыпанного трубопровода $R_{из0}$, Ом·м ²	Коэффициент* γ , 1/год
Заводские двух-, трехслойные полиэтиленовые и полипропиленовые покрытия	$3 \cdot 10^5$	0,05
Полимерные покрытия на основе терморезистивных смол и битумно-полимерные мастики	$1 \cdot 10^5$	0,08
*Коэффициент, характеризующий скорость изменения сопротивления изоляции во времени.		

Сопротивление изоляции эксплуатируемых газопроводов определяют по результатам изысканий. Проводим расчеты для участка 257-286.

Вторичные электрические параметры трубопровода – характеристическое и входное сопротивление, постоянная распространения тока, которые определяются расчетным путем.

Удельное электрическое сопротивление грунта вдоль трубы:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{(\sum l_i)^2}{(\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\sqrt{\rho_{\Gamma i}}})^2} = 25,69 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.1)$$

Начальное значение сопротивления изоляции трубопровода в начале эксплуатации, Ом * м²

$$R'_{из0} = 300000 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.2)$$

Продольное сопротивление трубопровода R_T , Ом/м, вычисляют по формуле

$$R_T = \frac{\rho_T}{\pi \cdot (D_T - \delta_T) \cdot \delta_T} = \frac{2,45 \cdot 10^{-7}}{3,14 \cdot (1,22 - 0,0095) \cdot 0,012} = 6,78 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/м} \quad (4.3)$$

Сопротивление растеканию тока трубопровода R_p , Ом·м², вычисляют по формуле

$$R_p = \frac{\rho_r \cdot D_T}{2} \ln \frac{0,4 \cdot R_p}{D_T^2 \cdot H_T \cdot R_T} = \frac{25,69 \cdot 1,22}{2} \ln \frac{0,4 \cdot 242}{1,22^2 \cdot 1,2 \cdot 6,78 \cdot 10^{-6}} = 242 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2 \quad (4.4)$$

Сопротивление растеканию трубопровода R_p' на единицу длины, Ом·м², вычисляют по формуле

$$R_p' = \frac{\rho_r}{2 \cdot \pi} \ln \frac{0,4 \cdot \pi \cdot R_p'}{D_T \cdot H_T \cdot R_T} = \frac{25,69}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{0,4 \cdot 3,14 \cdot 62,82}{1,22 \cdot 1,2 \cdot 6,78 \cdot 10^{-6}} = 62,82 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2 \quad (4.5)$$

Таблица 4.2 – Удельное электрическое сопротивление различных марок трубной стали

Марка трубной стали	Удельное электрическое сопротивление трубной стали, Ом·м
17ГС, 17Г2СФ, 08Г2СФ	2,45·10 ⁻⁷
18Г2, СТЗ	2,18·10 ⁻⁷
18Г2САФ, 18ХГ2САФ	2,63·10 ⁻⁷
15ГСТЮ	2,8·10 ⁻⁷
Данные о марке стали отсутствуют	2,45·10 ⁻⁷

Переходное сопротивление трубопровода $R_{п}$ в начале эксплуатации, Ом·м вычисляют по формуле

$$R_{п} = R'_{из0} + R_p = 300000 + 242 = 300242 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2 \quad (4.6)$$

Переходное сопротивление трубопровода $R_{п}$ в конце эксплуатации, Ом·м вычисляют по формуле:

$$R'_{п}(t) = R_p' + R'_{из0} \cdot e^{-\gamma \cdot t} = 62,82 + 300000 \cdot e^{-10 \cdot 0,05} = 173085 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2 \quad (4.7)$$

Постоянная распространения тока вдоль трубопровода a в начале эксплуатации, 1/м, вычисляют по формуле

$$a = \sqrt{\frac{R_T}{R_{II}}} = \sqrt{\frac{6,78 \cdot 10^{-6}}{300000}} = 4,75 * 10^{-6} \quad 1/\text{м} \quad (4.8)$$

Постоянная распространения тока вдоль трубопровода a на конечный период эксплуатации, 1/м, вычисляются по формуле

$$a = \sqrt{\frac{R_T}{R'_{II}}} = \sqrt{\frac{6,78 \cdot 10^{-6}}{173085}} = 6,25 * 10^{-6} \quad 1/\text{м} \quad (4.9)$$

Характеристическое сопротивление газопровода Z , Ом, по формуле

$$Z = \sqrt{R_T \cdot R'_{II}} = \sqrt{6,78 \cdot 10^{-6} \cdot 173085} = 1,083 \text{ Ом} \quad (4.10)$$

Входное сопротивление газопровода Z_{BT} в начале эксплуатации, по формуле

$$Z_{BT} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{R_T \cdot R'_{II}} = 0,713 \text{ Ом} \quad (4.11)$$

Входное сопротивление газопровода Z_{BT} в конце эксплуатации, по формуле

$$Z_{BT} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{R_T \cdot R'_{II}} = 0,541 \text{ Ом} \quad (4.12)$$

Таким образом, для оставшихся трасс, проводим точно такие же расчеты.

Таблица 4.3 – Полученные результаты проведенного расчета электрохимических параметров трубопровода

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

№ п/п	Начало участка, км	Конец участка, км	Протяженность, м	Продольное сопротивление, Ом·м	Нормативное сопротивление защитного покрытия (на момент обследования), Ом·м ²	Сопротивление растеканию трубопровода, Ом·м	Переходное сопротивление трубопровода на момент обследования, Ом·м ²	Оценка состояния защитного покрытия	Коэффициент γ, характеризующая скорость старения, 1/год	Прогнозируемый период, год	Прогнозируемое сопротивление растеканию трубопровода, Ом·м	Время эксплуатации АКП, лет	Прогнозируемый период, лет	
													1	
1	257	286	29000	0,00000678	173085	242	173327	удовлетворительное	0,055	2025	100001	10	5	
2	286	293,8	7800	0,00000678	12493	242	12735	удовлетворительное	0,08	2025	5722	26	5	
3	293,8	294,9	1100	0,00000678	173085	242	173327	удовлетворительное	0,055	2025	100001	10	5	
4	294,9	296,1	1200	0,00000678	12493	242	12735	удовлетворительное	0,08	2025	5722	26	5	
5	296,1	296,3	200	0,00000298	173085	242	173327	удовлетворительное	0,055	2025	100001	10	5	
6	296,3	307,8	11500	0,00000298	12493	242	12735	удовлетворительное	0,08	2025	5722	26	5	
7	307,8	308,2	400	0,00000298	173085	242	173327	удовлетворительное	0,055	2025	100001	10	5	
8	308,2	438	129800	0,00000298	12493	242	12735	удовлетворительное	0,08	2025	5722	26	5	
9	438	438,05	50	0,00000298	215677	242	215920	удовлетворительное	0,055	2025	124575	6	5	
10	438,05	463	24950	0,00000298	12493	242	12735	удовлетворительное	0,08	2025	5722	26	5	
11	463	468	5000	0,00000298	173085	242	173327	удовлетворительное	0,055	2025	100001	10	5	

12	468	472	4000	0,00000298	12493	242	12735	удовлетворительное	0,08	2025	5722	26	5
----	-----	-----	------	------------	-------	-----	-------	--------------------	------	------	------	----	---

Лист	Расчет и подбор оборудования по полученным значениям			Лист	60
Изм.				№ докум.	Дата
				Подпись	

По полученной таблице расчетов, можно сделать краткий вывод о том, что по прогнозу на период до следующего комплексного обследования в 2025 году сопротивление АКП должно быть не менее 5000 Ом*м². Реальное сопротивление АКП соответствует ГОСТ Р 51164-98 не менее 5000 Ом*м².

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.2 Расчет параметров установок катодной защиты

После расчета электрохимических параметров газопровода, приступают к определению количества анодных заземлителей и количества установок станции катодной защиты. Перед определением количества анодных заземлителей, начинают с катодной станции.

Выходные параметры станции катодной защиты выступают длина защитной зоны, мощность и сила тока. Нельзя забывать о том, что необходимо учитывать переходное сопротивление трубы в зависимости от времени. Значение длины защитной зоны определяет количества необходимости установок катодной защиты. Выходная мощность станции определяется с силой тока с учетом значения сопротивления анодных заземлителей.

Значения некоторых величин для расчета:

- длина анодного провода $y = 350$ м;
- длина спусков провода с опор преобразователя катодной защиты к газопроводу $\gamma_c = 4$ м;
- сечение провода дренажной линии $S_{пр} = 3,5 * 10^{-5} \text{ м}^2$;
- диаметр электрода заземлителя $d_э = 0,085$ м;
- глубина (до середины заземлителя) заложения электрода заземлителя $h = 2,5$ м;
- минимальный и максимальный защитный потенциал выбираем по таблице 7 и 8;
- естественный потенциал равен $U_e = - 0,6$ В.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.4 – Минимально защитные потенциалы [17].

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Минимальный защитный потенциал относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения, В	
	Поляризационный	С омической составляющей
Грунты с удельным электрическим сопротивлением не менее 10 Ом·м или содержанием водорастворимых солей не более 1 г на 1 кг грунта или при температуре транспортируемого продукта не более 293 К (20 °С)	-0,85	-0,90
Грунты с удельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом·м или содержанием водорастворимых солей более 1 г на 1 кг грунта, или опасном влиянии блуждающих токов промышленной частоты (50 Гц) и постоянных токов, или при возможной микробиологической коррозии, или при температуре транспортируемого продукта более 293 К (20 °С)	-0,95	-1,05
Примечания: 1. Для трубопроводов, температура транспортируемого продукта которых не более 278 К (5 °С), минимальный поляризационный защитный потенциал равен минус 0,80 В относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения. 2. Минимальный защитный потенциал с омической составляющей при температуре транспортируемого продукта от 323 К (50 °С) до 343 К (70 °С) - минус 1,10 В; от 343 К (70 °С) до 373 К (100 °С) - минус 1,15 В. 3. Для грунтов с высоким удельным сопротивлением (более 100 Ом·м) значения минимального потенциала с омической составляющей должны быть определены экспериментально или расчетным путем в соответствии с НД.		

Таблица 4.5 – Максимальные защитные потенциалы [17].

Условия прокладки и эксплуатации трубопровода	Минимальный защитный потенциал относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения, В	
	Поляризационный	С омической составляющей
При прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С) в грунтах с удельным электрическим сопротивлением менее 10 Ом·м или при подводной прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С)	-1,10	-1,50

При других условиях прокладки трубопроводов:		
➤ с битумной изоляцией	-1,15	-2,50
➤ с полимерной изоляцией	-1,15	-3,50

Примечания:

1. Для трубопроводов из упрочненных сталей с пределом прочности 0,6 МПа (6 кгс/см²) и более не допускаются поляризационные потенциалы более отрицательные, чем минус 1,10 В.
2. В грунтах с высоким удельным электрическим сопротивлением (более 100 Ом·м) допускаются более отрицательные потенциалы с омической составляющей, установленные экспериментально или расчетным путем в соответствии с НД.

Рассчитываем смещение разности потенциалов в точке дренажа (труба – земля):

$$U_{ТЗ0} = |U_0| - |U_e| = 1,15 - 0,6 = 0,55 \text{ В} \quad (4.13)$$

А затем, посчитаем минимальное смещение разности потенциалов (труба – земля):

$$U_{ТЗМ} = |U_M| - |U_e| = 0,85 - 0,6 = 0,25 \text{ В} \quad (4.14)$$

Длину защитной зоны L_3 катодной установки на начальный период эксплуатации, м, вычисляют по формуле:

$$L_3 = \frac{2}{\alpha(t)} \ln \frac{U_{ТЗ0}}{k \cdot U_{ТЗМ}} = \frac{2}{1,436 \cdot 10^{-5}} \ln \frac{0,55}{2 \cdot 0,25} = 13274 \text{ м} \quad (4.15)$$

Длину защитной зоны L_3 катодной установки на конечный период эксплуатации, м, вычисляют по формуле:

$$L_3 = \frac{2}{\alpha(t)} \ln \frac{U_{ТЗ0}}{k \cdot U_{ТЗМ}} = \frac{2}{2,61 \cdot 10^{-5}} \ln \frac{0,55}{2 \cdot 0,25} = 7303 \text{ м} \quad (4.16)$$

Определяем количество установок катодной защиты N на начальный и конечный период эксплуатации:

$$N = \frac{L}{L_3} = \frac{215000}{13274} = 16,19 = 17 \text{ шт}$$

$$N = \frac{L}{L_3} = \frac{215000}{7303} = 29,43 = 30 \text{ шт}$$

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Силу тока I , А, катодной установки вычисляют на начальный период эксплуатации по формуле

$$I = \frac{2 \cdot U_{\text{тзо}}}{Z_{\text{вт}}(t)} = \frac{2 \cdot 0,55}{0,71} = 3,64 \text{ А} \quad (4.17)$$

Силу тока I , А, катодной установки вычисляют на конечный период эксплуатации по формуле

$$I = \frac{2 \cdot U_{\text{тзо}}}{Z_{\text{вт}}(t)} = \frac{2 \cdot 0,55}{0,1235} = 8,9 \text{ А} \quad (4.18)$$

Сопротивление дренажной линии Ом, вычисляют по формуле

$$R_{\text{л}} = \rho_{\text{м}} \cdot \frac{y + \gamma_{\text{с}}}{S_{\text{пр}}} = 1,8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{350 + 4}{3,5 \cdot 10^{-5}} = 0,182 \text{ Ом} \quad (4.19)$$

где $y, \gamma_{\text{с}}$ - длина анодного провода и спусков провода с опор преобразователя катодной защиты к анодному заземлению и трубопроводу, м;

$S_{\text{пр}}$ - сечение медного провода дренажной линии, м^2 ;

$\rho_{\text{м}} = 1,8 \cdot 10^{-8}$ - удельное электрическое сопротивление медного провода, Ом-м.

Напряжение на выходе преобразователя U , В, вычисляют по формуле

$$U = I \cdot [Z_{\text{вт}}(t) + R_{\text{л}} + R_{\text{з}}] = 8,9 \cdot [1,71 + 0,182 + 1] = 25,65 \text{ В} \quad (4.20)$$

Мощность преобразователя W , Вт, вычисляют по формуле

$$W = I \cdot U = 8,9 \cdot 25,65 = 228,28 \text{ Вт} \quad (4.21)$$

Выбор типа преобразователя катодной защиты выполняют в соответствии с результатами расчета силы тока, напряжения на выходе УКЗ и мощности. При выборе типа преобразователя необходимо увеличить в 1,5 раза требуемую максимальную силу тока при прокладке трубопровода в грунтах высокой коррозионной агрессивности.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.3 Расчет параметров анодного заземления.

Выбор типа анодного заземления осуществляют с учетом следующих факторов:

- силы тока катодной установки;
- свойства грунта в месте размещения заземления (удельное сопротивление грунта, глубина промерзания);
- расположения защищаемого объекта и других подземных металлических сооружений по отношению к анодному заземлению.

Переходное сопротивление одного заземлителя $R_{з1}$ зависит от удельного электрического сопротивления грунта, геометрических размеров электродов и их взаимного расположения. Переходное сопротивление одного электрода заземления принимают равным величине его сопротивления растеканию тока. Переходное сопротивление протяженного анодного заземления принимают равным его входному сопротивлению.

Начальное сопротивление растеканию тока анодного заземления $R_{р1}$ в различных грунтах не должно превышать величин, указанных в таблице 4.6 [17].

Таблица 4.6 – Требования к начальной величине сопротивления растеканию тока для различных условий применения анодных заземлений [17]

Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Сопротивление растеканию тока анодного заземления, не более, Ом
Солончаки, соры	Менее 10	0,5
Глины, суглинки	От 10 до 50	1,0
Супесь	От 50 до 100	1,5
Пески	От 100 до 500	3,0

Скальный грунт, сухие пески	Более 500	10,0
Вечномерзлый грунт	Более 500	10,0

Конкретное место монтажа и тип анодного заземления определяют исходя из удельного сопротивления грунта, результатов вертикального электрозондирования, топографических особенностей местности, условий землеотвода и удобства подъезда. Для протяженных кабельных анодов (в том числе на основе эластомерных материалов) условия применения определяют в соответствии с рекомендациями организации – изготовителя.

Выбор типа АЗ производят исходя из удельного электрического сопротивления грунта и наличия свободной площади:

– в грунтах с удельным электрическим сопротивлением не более 50 Ом·м следует применять сосредоточенные и распределенные подповерхностные АЗ с использованием малорастворимых электродов. Эти заземления следует устанавливать на глубину до 10 м и ниже глубины сезонного промерзания. Размещение подповерхностных заземлений следует проектировать преимущественно на некультивируемых землях;

– при отсутствии свободной площади и наличии на глубине пластов с удельным сопротивлением в два раза меньшим, чем поверхностные грунты (по данным вертикального электрического зондирования), необходимо использовать глубинные анодные заземления (ГАЗ). Глубинные заземления устанавливают в специально пробуренные скважины;

– в скальных и многолетнемерзлых грунтах применяются глубинные анодные заземления. В целях снижения затрат на строительные-монтажные работы и дальнейшую эксплуатацию заземлений в этих грунтах следует применять протяженные АЗ, укладываемые в траншею вместе с трубопроводом на максимальном расстоянии от его поверхности.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Расстояние от подповерхностного АЗ до ближайшего защищаемого сооружения должно быть не менее 200 м. Для ГАЗ это расстояние должно быть не меньше 50 м.

Расчет параметров анодного заземления включает определение количества электродов и их срок службы.

Таблица 4.7 – Данные для расчета подповерхностного анодного заземления

№ пп	Обозн. по РД	Значение	Ед. изм.	Примечание
1		Вертикальное		Расположение электрода заземлителя
2		Коксовая		Засыпка заземлителей
3	l_3	1.6	м	Длина электрода заземлителя
4	d_3	0.085	м	Диаметр электрода заземлителя
5	h	2.5	м	Глубина (до середины заземлителя) заложения электрода заземлителя
6	ρ_e	25	Ом · м	Удельное сопротивление грунта в месте анодного заземления
7	d_a	0.6	м	Диаметр коксовой засыпки
8	ρ_a	5	Ом · м	Удельное сопротивление коксовой засыпки
9	q_3	0.3	кг/Ом · м	Скорость растворения материала электродов анодного заземления
10	G_3	100	кг	Масса материала электродов анодного заземления
11	R_p	1	Ом	Сопротивление растеканию тока заземления, состоящего из N электродов

Сопротивление растеканию одного заземлителя R_{p1} вычисляется по формуле:

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$R_{p1} = \frac{\rho_r}{2 \cdot \pi \cdot l_3} * \left(\ln \frac{2 \cdot l_3}{d_3} \right) = \frac{25}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,6} * \left(\ln \frac{2 \cdot 1,6}{0,085} \right) = 9,02 \text{ Ом} \quad (4.22)$$

Число электродов N_3 вычисляется по формуле:

$$N_3 = \frac{R_{p1}}{0,7 \cdot R_p} = \frac{9,02}{0,7 \cdot 1} = 12,85 \approx 13 \text{ шт.} \quad (4.23)$$

Средняя сила тока, стекающего с заземления, за планируемый период эксплуатации заземления $I_{3,ср}$

$$I_{3,ср.} = \frac{I_H + 3 \cdot I_K}{4} = \frac{3,64 + 3 \cdot 8,9}{4} = 7,585 \text{ А} \quad (4.24)$$

Срок службы анодного заземления, лет

$$T_p = \frac{G_3 \cdot k_i}{q_3 \cdot I_{3,ср}} = \frac{120 \cdot 0,77}{0,3 \cdot 7,585} = 40,6 \text{ лет} \quad (4.25)$$

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.4 Обоснование проведенного исследования по результатам данных

4.4.1 Выбор анодного заземления

По полученным расчетам, производим подбор анодного заземления, подходящего для нашего участка. Исходя из расчетов наиболее оптимальным является анодный заземлитель «Менделеевец»-ММ. Характеристики данного вида анодного заземлителя представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Техническая характеристика «Менделеевец» - ММ

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ	ЗНАЧЕНИЕ	
	ММ(23)	ММ(43)
Максимальная токовая нагрузка, А, не менее	5,0	6,0
Скорость анодного растворения, кг/(А·год), не более	0,3	
Габаритные размеры заземлителя в сборе, мм, не более: - длина (высота) - диагональ поперечного сечения (диаметр)	1600 90	1500 90
Номинальная масса электрода, кг	23	43
Масса заземлителя в сборе (без учёта кабеля), кг, не более	25	46
Срок службы, лет, не менее	35	

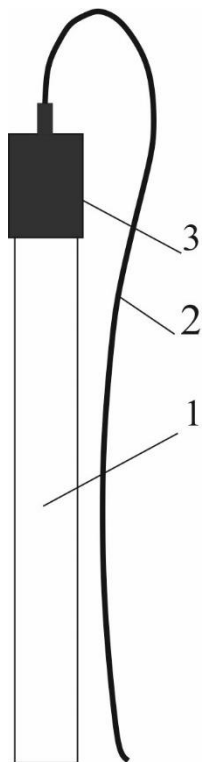
«Менделеевец»-ММ внесен в реестр государственных образцов. Имеет положительное заключение санитарно-эпидемиологической экспертизы.

Заземлители анодные «Менделеевец» - ММ предназначены для использования в качестве малорастворимых элементов поверхностных анодных заземлений в установках катодной защиты. Одним из плюсов этого заземлителя это защита магистрального газопровода при подземной прокладке или даже других подземных сооружений при любых почвенно – климатических условиях.

Иными словами, заземлители предназначены для подключения к станциям катодной защиты и другим источникам постоянного тока.

Конструктивно заземлитель представляет собой ферросилидовый электрод; снабженный кабелем присоединения (рисунок 4.1).

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



- 1 - ферросилидовый электрод;
 2 - кабель присоединения;
 3 - термоусаживаемая муфта переходного диаметра.

Рисунок 4.1 – Анодный заземлитель (ферросилидовый электрод)

Различают две модификации заземлителей, отличающиеся массогабаритными характеристиками электрода: ММ(23) и ММ(43).

Геометрический вид электродов представляют собой стержневую форму. Сама отливка имеет отливку в виде круглого сечения. В головной части электрода имеется утолщение, в котором размещается контактный узел, заполненный внутри специально разработанным составом на базе полимерного компаунда и надежно изолированный снаружи термоусаживаемыми муфтами.

Заземлители подключают в электрическую цепь. Подключение заземлителя к силовому кабелю станции катодной защиты осуществляется через контрольно – измерительные приборы с помощью кабеля магистрального. К магистральному кабелю присоединяют анодные кабели с помощью кабельных зажимов или термитной сварки. Термоусаживающие муфты применяют для изоляции соединительных кабелей. Для снижения скорости анодного растворения и уменьшения сопротивления тока

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

растекании применяют засыпку коксо – минеральным активатором в прианодное пространство.

Таблица 4.9 – Масса – габаритные характеристики электрода заземлителя.

Наименование параметра	Значение параметра
Длина, мм не более	1385
Диаметр головной части, мм, не более	85
Диаметр основной части, мм, не более	85
Номинальная масса, кг	43

Скорость анодного растворения сплава электрода заземлителя в нейтральной среде, при максимальной токовой нагрузке не превышает 0,3 кг/А*год.

Заземлитель снабжен кабелем присоединения марки ВПП с сечением медных жил 10 мм². Длина кабеля присоединения составляет 2 метра (для типовой комплектации) или определяется в соответствии с заказом. Кабель присоединения имеет электрический контакт с ферросилидовым электродом. Место контакт – контактный узел – изолировано с помощью полимерного компаунда и термоусаживаемой муфты переходного диаметра. Переходное электрическое сопротивление контакта кабеля присоединения с электродом не более 0,05 Ом.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Характеристика заземлителя по габаритным размерам и массы представлены в виде таблицы 4.10.

Таблица 4.10 – Масса – габаритные характеристики заземлителя.

Наименование параметра	Значение параметра
Длина, мм не более	1500
Диаметр головной части, мм, не более	90
Диаметр основной части, мм, не более	85
Масса (без учета длины кабеля), кг	46

Срок службы заземлителя не менее 35 лет.

Заземлители поставляются в комплекте с комплектующими материалами, необходимыми для установки заземлителей в скважины или траншею и подключения кабелей присоединения к магистральному кабелю анодной линии.

Подключение кабелей присоединения к магистральному кабелю анодной линии при подземной прокладке производится с использованием кабельных зажимов (КЗ) или термитной сварки (ТС). Для изоляции кабельных соединений используются термоусаживаемые материалы. Подключение кабелей присоединения к магистральному кабелю анодной линии с помощью клемм контрольно-измерительной колонки производится с использованием кабельных жил кабеля и кабельных наконечников используются термоусаживаемые материалы.

Заземлители могут поставляться в типовой комплектации и под заказ, в соответствии с условным обозначением комплекта поставки. Типовой комплект поставки состоит из 20 штук заземлителей, с кабелем присоединения длиной 2 м, магистрального кабеля длиной 200 м и соответствующим количеством расходных материалов для изготовления и изоляции кабельных соединений.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Состав комплекта поставки заземлителей представлен в таблице 4.11.

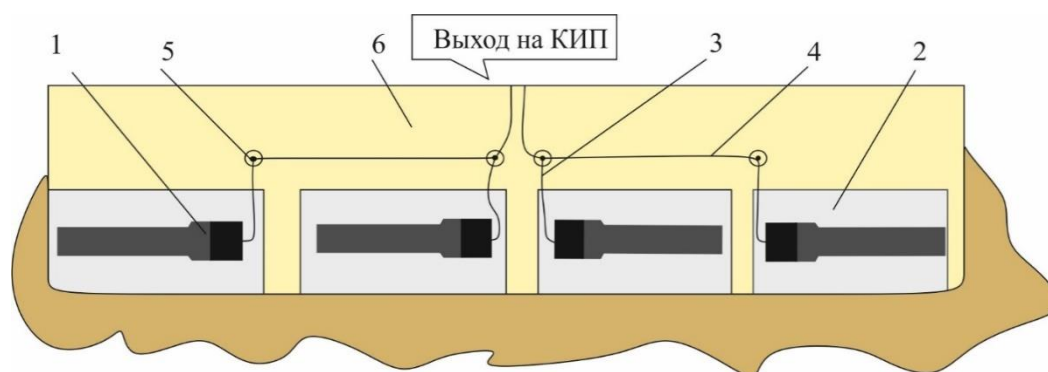
Таблица 4.11 – Комплектность поставки заземлителя.

№	Наименование	Количество	
		Типовая комплектация	
		КЗ	ТС
1	2	3	4
1	Заземлитель анодный «Менделеевец»-ММ (43), шт.	20	
2	Магистральный кабель, м	200	
3	Техническая документация	1	
4	Кабельный зажим, шт	20	-
5	Ключ монтажный, шт.	1	-
6	Термит медный, кг	-	1
7	Спички термитные, упак.	-	1
8	Тигель-форма, шт.	-	1
9	Стакан мерный, шт.	-	1
10	Полумуфта с тремя кабельными выводами, шт.	18	
11	Полумуфта с двумя кабельными выводами, шт.	2	
12	Оконцеватель термоусаживаемый, шт.	20	
13	Клей-расплав, кг	0,4	

Заземлители хранят в упаковочной таре на открытых площадках и помещениях. Длительное хранение на открытой площадке необходимо осуществлять под навесом. При хранении обеспечивают условия, предотвращающие загрязнение поверхности маслами, красками и другими неэлектропроводными материалами. Не допускается воздействие солнечной радиации на оболочки кабелей заземлителей. Срок хранения заземлителей не ограничен.

Схема поля поверхностного анодного заземления с укладкой электродов анодного заземлителя в траншею, представлена на рисунке 4.2. Разметка и разработка траншеи под горизонтальную укладку электродов заземлителя должна строго соответствовать проекту катодной защиты.

В местах расположения электродов анодного заземления, производится заполнение нижней части траншеи местным грунтом, глиной, коксо-минеральным активатором или другой, предусмотренной проектом засыпкой, в объеме и на глубину согласно проекту катодной защиты.



- 1 - электрод анодного заземления;
- 2 - засыпка прианодного пространства;
- 3 - кабель присоединения электрода заземлителя;
- 4 - магистральный кабель анодного заземлителя;
- 5 - кабельное соединение;
- 6 - траншея для прокладки магистрального кабеля.

Рисунок 4.2 – Схема анодного поверхностного заземления с укладкой электродов заземлителя в траншею.

4.4.2 Выбор электрода сравнения

Для измерения потенциала подземного металлического сооружения в соответствии с требованиями ГОСТ 9.602-2005 необходимо подобрать медно-сульфатный электрод сравнения. Нормативным требованиям отвечает стационарный медно-сульфатный электрод сравнения СМЭС «Менделеевец». Данный электрод сравнения внесен в реестр и зарегистрирован в сертификат. Имеет положительное заключение санитарно-эпидемиологической экспертизы.

Электроды сравнения СМЭС применяются в качестве стационарных медно-сульфатных электродов сравнения длительного действия в системах электрохимической защиты от коррозии и предназначены для измерения суммарного (с омической составляющей) и поляризационного (без омической составляющей) потенциалов подземного металлического сооружения.

В зависимости от конструктивного исполнения и комплекта поставки различают следующие типы и модификации электродов сравнения СМЭС:

1. СМЭС-1. Предназначен для измерения суммарного потенциала в грунтах средней коррозионной агрессивности;
2. СМЭС-2. Предназначен для измерения суммарного потенциала в любых грунтах: низкой, средней и высокой коррозионной агрессивности, в том числе засушливых, обводненных, засоленных грунтах;
3. СМЭС-2 (ВЭ). Предназначен для измерения суммарного и поляризационного (методом коммутации (отключения) вспомогательного электрода по ГОСТ 9.602) потенциалов.

Вспомогательный электрод ВЭ «Менделеевец» (далее – электрод ВЭ) предназначен только для совместного использования с двухкорпусными медно-сульфатными электродами сравнения СМЭС-2 и как отдельное изделие не применяется. Допускается поставка электродов ВЭ как запасных

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

частей к двухкорпусным медно-сульфатным электродам сравнения СМЭС-2 и СМЭС-2 (ВЭ).

Электроды сравнения СМЭС и электроды ВЭ (далее – электроды) устанавливаются в грунт на глубину укладки трубопровода ниже глубины промерзания грунта для данного климатического района.

Электроды сравнения являются стационарными и устанавливаются в грунт на глубину укладки трубопровода обязательно ниже глубины промерзания грунта (рисунок 4.3).

Электроды устанавливаются в местах, определяемых проектом катодной защиты, с выводом измерительных проводов на контрольно-измерительные пункты (КИП) или станции катодной защиты (СКЗ).

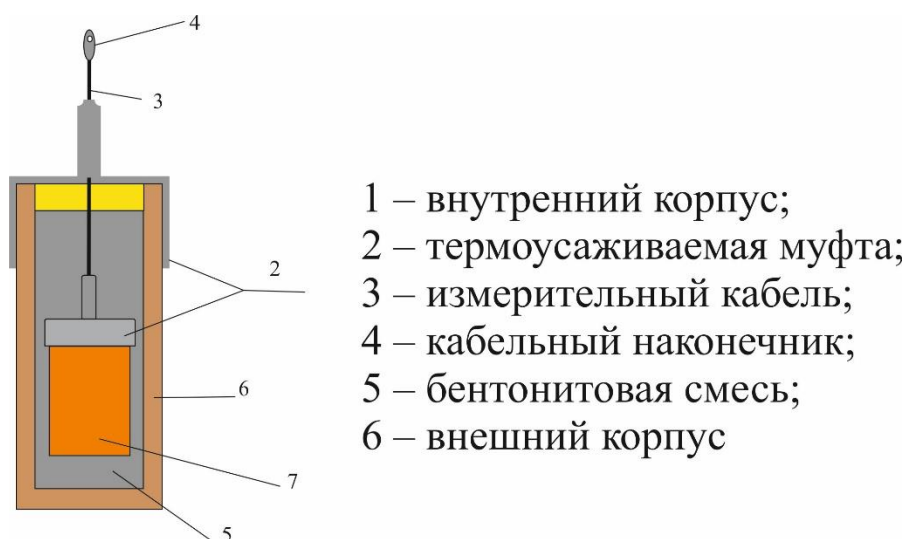


Рисунок 4.3 – Конструкция электрода.

Конструкция электрода сравнения СМЭС обеспечивает создание и поддержание постоянного стабильного электролитического контакта с рабочей поверхностью электрода с грунтом, при измерении потенциала защищаемых подземных металлических сооружений относительно грунта (потенциал «труба-земля») в течение всего срока эксплуатации.

Основные технические характеристики электродов сравнения СМЭС приведены в таблице 4.12.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**Таблица 4.12 – Основные технические характеристики электродов
сравнения СМЭС**

Наименование параметров	Значение	
	СМЭС-1	СМЭС-2
Потенциал по отношению к хлорсеребряному электроду сравнения, мВ	120±15	100±15
Переходное электрическое сопротивление, Ом, не более	100	3000
Стабильность потенциала (неполяризуемость), мВ/мкА, не хуже	±2	
Разница потенциалов электродов изготовленных в одной партии, мВ, не более	7,5	
Допустимое изменение потенциала (стабильность потенциала во времени), мВ, не более	15	30
- за 30 суток		
- за 90 суток		
Длина измерительного кабеля, м	По заказу	
Марка кабеля	ВПП 1х6 или аналогичный	
Марка кабельного наконечника	ТМ 6-6-4 или аналогичный	
Габаритные размеры (без учета длины кабеля):	390	390
- высота, мм, не более	120	160
- диаметр, мм, не более		
Масса (в состоянии поставки, без учета массы кабеля), кг, не более	5	9
Климатическое исполнение	О5 по ГОСТ 151150	
Рабочий диапазон температур, °С	от минус 5 до +45	
Срок службы, лет, не менее	15	

Основные технические характеристики вспомогательных электродов приведены в таблице 4.13.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.13 – Основные характеристики вспомогательных электродов

Параметр	ВЭ1250	ВЭ625	ВЭ312	ВЭ156
Площадь стального электрода, мм ²	1250	625	312	156
Марка стали	Ст3			
Длина измерительного кабеля, м	По заказу			
Марка кабеля	ВПП 1х2,5 или аналогичный			
Марка кабельного наконечника	ТМ 2,5-6-2,6 или аналогичный			
Габаритные размеры без учета длины кабеля (ДхШхВ), мм, не более	130х55х25			
Масса (без учета массы кабеля), кг, не более	0,3			
Климатическое исполнение	О5 по ГОСТ 15150			
Рабочий диапазон температур, °С	От минус 5 до +45			
Срок службы, лет, не менее	15 лет			

Комплект поставки электродов сравнения СМЭС-1 и СМЭС-2
приведен в таблице 17.

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Таблица 4.14 – Комплект поставки электродов сравнения СМЭС-1 и СМЭС-2

№	Наименование	Количество, шт.
1	Электрод сравнения СМЭС «Менделеевец» (СМЭС-1-х или СМЭС-2-х)	N
2	ХИМС.01.018 РЭ Руководство по эксплуатации	N
3	Индивидуальная упаковка	N
4	Ящик тарный под СМЭС	1 (в зависимости от заказа)

Комплект поставки электродов сравнения со вспомогательными электродами СМЭС-2(ВЭ) приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Комплект поставки электродов сравнения со вспомогательными электродами СМЭС-2(ВЭ).

№	Наименование	Количество, шт
1	Электрод сравнения СМЭС	
1.1.	Электрод сравнения СМЭС «Менделеевец» (СМЭС-1-х или СМЭС-2-х)	N
1.2.	ХИМС.01.018 РЭ Руководство по эксплуатации	N
1.3.	Индивидуальная упаковка	N
1.4.	Ящик тарный под СМЭС	1 (в зависимости от заказа)
2	Вспомогательный электрод	
2.1.	Вспомогательный электрод ВЭ «Менделеевец» (ВЭxxx-х)	N
2.2.	Пластиковые хомуты	2x N
2.3.	Ящик тарный под ВЭ	1 (в зависимости от заказа)

Комплект поставки электродов ВЭ приведен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Комплект поставки электродов ВЭ

№	Наименование	Количество, шт.
1.	Вспомогательный электрод ВЭ «Менделеевец» (ВЭxxx-х)	N
2.	Пластиковые хомуты	2х N
3.	ХИМС.01.018.19 ЭТ Этикетка	1
4.	Ящик тарный под ВЭ	1 (в зависимости от заказа)

					<i>Расчет и подбор оборудования по полученным значениям</i>	<i>Лист</i>
						81
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

4.4.3 Выбор типа установки катодной защиты

Согласно расчетам, произведем подбор станции катодной защиты для нашего участка. Исходя из результатов расчета, приведенных в главе 3, для нашего случая оптимальным вариантом будет комплекс модульной защиты производства России. Данное оборудование внесено в реестр и сертифицировано в системе. Отвечает требованиям ГОСТ Р 51164-98, ГОСТ 9.602-2005, ОТТ к модульным станциям катодной защиты СТО Газпром 9.4-023-2013.

Преобразователь конструктивно выполнен в виде модулей. Модули размещаются внутри Еврошкафа со степенью защиты IP20 — для установки внутри помещений, блок-боксов ЭХЗ и др., со степенью защиты IP34 — для установки на открытом воздухе. Все модули смонтированы в еврокрейте, межблочные соединения выполнены на кросс-плате, что обеспечивает максимальное удобство при установке или снятии силовых модулей.

Применено микроконтроллерное управление силовыми модулями, что позволило обеспечить равномерное распределение нагрузки, контроль дополнительных параметров работы станции.

Обеспечена возможность работы комплекса модульной защиты в режиме стабилизации поляризационного потенциала. Введена схема активной коррекции коэффициента мощности, позволяющая достигнуть значения $> 0,97$ (соответствие евростандартам EN 61000-3-2; МЭК/IEC6100-3-2 и ГОСТ 30804.3.2-2013).

Выполнены требования по электромагнитной совместимости (EMI) евростандартов EN 50 082/2 (VDE0839.82-2) и EN 50 081/2 (VDE0839.8-2), а также ГОСТ 30804.6.2-2013 (IEC 61000-6-2:2005), ГОСТ 30804.6.4-2013 (IEC 61000-6-4:2006).

Комплекс модульной защиты НГК-ИПКЗ-Евро (далее КМО) предназначен для электрохимической защиты подземных стальных сооружений от почвенной коррозии, сбора и обработки информации о коррозионных процессах и противокоррозионной защите и передачи этой

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

информации по цифровому интерфейсу в системы телемеханики. Так же КМО НГК-ИПКЗ-Евро поддерживает режимы телеизмерения (ТИ), телесигнализации (ТС), телеуправления (ТУ) и телерегулирования (ТР).

СКЗ НГК-ИПКЗ-Евро позволяет производить мониторинг коррозионных процессов в одной точке – точке дренажа.

Функциональные возможности:

- работа в режиме автоматической стабилизации выходного тока;
- работа в режиме автоматической стабилизации защитного или поляризационного потенциала защищаемого сооружения;
- автоматический переход в режим стабилизации выходного тока при обрыве в цепи электрода сравнения;
- работа в режиме стабилизации выходного напряжения (при проведении интенсивных измерений);
- защита от импульсных (грозовых) перенапряжений по всем цепям внешней коммутации;
- измерение, отображение на встроенном индикаторе модуля управления кмо-бу-евро и передача по интерфейсу в систему телемеханики следующих параметров:
 - выходной ток преобразователя;
 - потенциал (поляризационный, защитный) сооружения в точке дренажа;
 - выходное напряжение преобразователя;
 - режим работы преобразователя;
 - режим управления преобразователем (ручной, дистанционный);
 - время защиты сооружения;
 - текущие дата и время;
 - время наработки основного и резервного преобразователя;
 - состояние пластин индикатора скорости коррозии бпи-2;
 - данные о скорости и глубине коррозии от икп (от 1 до 8 индикаторов);

					Расчет и подбор оборудования по полученным значениям	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– значение напряжения основной или *резервной* 1 линии питания
 $\sim 230 \text{ В};^2$

– накопленный расход электроэнергии основной и *резервной* линии
 $\sim 230 \text{ В};^2$

– работа основного либо резервного преобразователя;

– состояние силовых модулей;

– температура в шкафу кмо.

Дистанционное управление по интерфейсу следующими режимами преобразователя:

– режим работы;

– включение и выключение режима ожидания преобразователя.

Дистанционное регулирование по интерфейсу следующих параметров:

– выходной ток преобразователя;

– потенциал (поляризационный, защитный) сооружения;

– выходное напряжение преобразователя.

В таблице 4.17 представлены основные характеристики этой станции.

Таблица 4.17 – Основные характеристики станции

Наименование	Номинальная выходная мощность канала, кВт	Номинальное выходное напряжение канала, В	Номинальный суммарный выходной ток, А
Станция -0,2(24)	0,2	24	8,3
Станция -1,25(48)	1,25	48	26,1
Станция -0,6(24)	0,6	24	24,9
Станция -0,8(24)	0,8	24	33,2
Станция -1,0(24)	1,0	24	41,5
Станция -1,2(24)	1,2	24	49,8
Станция -1,0(48)	1,0	48	21,0
Станция-0,4(24)	0,4	24	16,6

				<i>Лист</i>	
				<i>Расчет и подбор оборудования по полученным значениям</i>	
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	84

Станция-2,0(48)	2,0	48	42,0
Станция-2,5(48)	2,5	48	52,2
Станция-3,0(48)	3,0	48	63,0
Станция-1,0(96)	1,0	96	10,5
Станция-2,0(96)	2,0	96	21,0
Станция-3,0(96)	3,0	96	31,5

Из представленного выбора типов исполнения оборудования подберем станцию катодной защиты согласно выполненным расчетам. Для нашего участка наиболее оптимальным является станция катодной защиты-0,2(24).

Таблица 4.18 – Комплект поставки станции катодной защиты

№	Наименование	Количество
1	Оборудование-Евро в составе:	1
1.1.	Шкаф 19” монтажный (по ГОСТ 28601.2-90) IP20 (IP34)	1
1.2.	Преобразователь катодной защиты	1
1.3.	Модуль автоматического включения резерва БАВР	1
1.4.	Модуль защиты от импульсных перенапряжений (МЗПИ)	1
1.5.	Концевой выключатель «Открытие двери шкафа»	1
1.6.	Провод внешнего заземления шкафа	1 компл.
1.7.	Система автоматического переключения на резервную линию~220В	
1.8.	Модуль аккумуляторных батарей АКБ БУ (корпус модуля; блок аккумуляторов)	
1.9.	Система принудительной вентиляции шкафа	
1.10.	Счётчик активной электроэнергии основной линии ~230 В	
2	Подставка для шкафа КМО	
3	Ключи от шкафа КМО (не менее 2-х шт.)	1 компл.
4	Руководство по эксплуатации КМО НГК–ИПКЗ–Евро	1

№	Наименование	Количество
5	Паспорт оборудование	1
6	КИП анодного заземлителя НГК-КИП	
7	Система коррозионного мониторинга НГК-СКМ в составе:	
7.1.	Модуль контроллера сопряжений (КССМ)	
7.2.	Устройства защиты НГК-СКМ от импульсных перенапряжений	
7.3.	Устройство бесперебойного питания АКБ СКМ (2 блока аккумуляторов)*	
7.4.	КИП мониторинга коррозионных процессов НГК-КИП-М	
7.5.	КИП точки дренажа и мониторинга коррозионных процессов НГК-КИП-СМ	
7.6.	Руководство по эксплуатации НГК-СКМ	

					<i>Расчет и подбор оборудования по полученным значениям</i>	<i>Лист</i>
						86
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Транспортировка нефти, газа и нефтепродуктов на значительные расстояния по трубопроводам предусматривает этапы определения трудовых и денежных затрат, направленных на его реализацию. Данный раздел посвящен сравнительному анализу автоматических выпрямителей для катодной защиты (В-ОПЕ-ТМ) и автоматизированные импульсные станции катодной защиты.

Для промышленного использования в качестве источников защитного тока нашли место автоматические выпрямители в системах катодной защиты подземных металлических сооружений различного назначения от электрохимической коррозии. Установка контролирует параметры катодной защиты и коррозионных процессов в точке дренажа с передачей данных в системы телемеханики [61].

В настоящее время большую популярность получают импульсные станции катодной защиты с возможностью дистанционного контроля и управления. Устройство преобразует электрический ток из переменного в постоянный, а также подает необходимый защитный потенциал на защищаемый элемент.

Автоматизированные импульсные станции катодной защиты (АИСКЗ) предназначены для электрохимической защиты подземных сооружений с функциями дистанционного контроля и управления, а также диагностирования состояния защитного покрытия подземного сооружения.

АИСКЗ имеют высокую информативность контролируемых параметров и обеспечивают автоматическое выполнение всех необходимых функций контроля, управления, регулирования и сигнализации аварийных ситуаций.

					Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Копырин К.П.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарцдина О.Н.					87	139
Консульт.		Романюк В.Б.				НИ ТПУ гр. 2БМ81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

Таким образом, необходимо рассмотреть график выполнения работ при монтаже станции катодной защиты, рассчитать сметную стоимость выполнения работ, а также оценить эффективность капитальных вложений.

Таблица 5.1 – Основные характеристики станций катодной защиты

СКЗ	Номинальная выходная мощность, кВт, не менее	Номинальный суммарный выходной ток при выходном напряжении, А, не менее	Потребляемая мощность, кВт, не более
В-ОПЕ-ТМ	1,0	21	1,1
АИСКЗ (ИПКЗ-РА)	0,24	20	0,38

Станция катодной защиты построены на базе импульсных преобразователей и предназначены для электрохимической защиты подземных стальных сооружений от почвенной коррозии, сбора и обработки информации о коррозионных процессах и противокоррозионной защите и передачи этой информации по интерфейсу.

Указанные выше СКЗ соответствуют стандартам:

- Оборудование внесено в реестр ПАО «Газпром»;
- ГОСТ 9.602-2016 «Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии»;
- ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии»;
- СТО Газпром 9.4-023-2013 «Мониторинг и прогноз коррозионного состояния объектов и оборудования. Система сбора, обработки и анализа данных. Основные требования»;
- Сертифицировано в системе ИНТЕРГАЗСЕРТ.

В таблице 4.1 представлены нормы времени на выполнение монтажных работ [62].

Таблица 5.2– Нормы времени выполнения технологических операций

№ п/п	Наименование операций	Объем работ, шт	Продолжительность работ, ч	Состав бригады, чел.
1	Строительно-монтажные работы	1	2	3
2	Пуско-наладочные работы	1	5,5	2
3	Проектно-изыскательные работы	1	3,5	2
	Продолжительность монтажа, ч		11	

В случае параллельного выполнения работ, целесообразно представить линейный график (таблица 4.2).

Таблица 5.3 – Линейный календарный план проведения работ на объекте

№ п/п	Наименование операций	Продолжительность процесса	Рабочие смены										
			1					2					
			Рабочие часы										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Строительно-монтажные работы	2											
2	Пуско-наладочные работы	5,5											
3	Проектно-изыскательные работы	3,5											

5.1 Сметная стоимость выполнения работ

При составлении смет (расчетов) могут применяться методы определения стоимости:

- ресурсный;
- базисно-индексный;
- ресурсно-индексный;
- на основании укрупненных сметных нормативов: данных о стоимости ранее построенных или запроектированных объектов-аналогов.

При расчете сметной стоимости выполнения работ при проведении монтажных работ станций катодной защиты.

Ресурсный метод – способ определения цен, подразумевающий составление смет на основе определения реальной стоимости элементов, которые входят в состав сметы.

В качестве дополнительного метода определения сметной стоимости может использоваться информация о стоимости ранее построенных или запроектированных аналогичных объектов [64].

Основные статьи сметного расчёта затрат на проведение работ по сравнительным расчетам рентабельности монтажа станций катодной защиты представлены в таблице 4.3.

Таблица 5.4 – Статьи сметного расчета на выполнение работ

Статьи затрат	
1	Спецоборудование
2	Монтаж
3	Оплата труда
4	Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды
5	Амортизация основных средств
6	Накладные расходы
7	Прочее
	Всего стоимость

Планирование и финансирование работ, и расчеты заказчиков производятся на основе сметных расчетов, по всем статьям затрат.

Для определения затрат на операции используются следующие проекты и нормативные документы:

- данные технического проекта;
- строительные нормы и правила (СНиП);
- единые районные единичные расценки;
- единые и местные цены на материалы, оборудование, инструменты и оснастку.

В таблице 5.5 представлена информация по нормативной базе сметных расчетов в области налогообложения.

					<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лист</i>
						90
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 5.5 – Нормативная база сметных расчетов в области налогообложения [33]

№ п/п	Вид норматива, нормативная база	Характеристика	Источник	Методические указания
1	Норма амортизации	Зависит от класса основных средств по сроку полезного использования	НК РФ Статья 258. Амортизационные группы; ПБУ №6	Методы начисления амортизации: линейный и нелинейный.
2	Повышающий коэффициент к амортизации	Перечень имущества	№144-ФЗ от 23.05.2016 г. п.1 ст.2	
3	Класс основных средств	Общероссийский классификатор основных средств (ОКОФ)	Постановление правительства РФ от 07.07.2016 г. ; N 281-ФЗ	
4	Страховые взносы	30 % от фонда оплаты труда	Глава 34 Налоговый кодекс РФ	База исчисления – фонд оплаты труда Предельный размер фонда оплаты труда облагаемый страховыми взносами в 2017 г.: ФСС- 755 тыс. руб.; ПФ- 876 тыс. руб.
5	Страхование от профессиональных заболеваний и несчастных случаев на производстве	В 2018 году и в плановом периоде 2019 и 2020 годов сохраняются 32 класса профессионального риска, размеры и диапазон страховых тарифов от 0,2 до 8,5%.	N 125-ФЗ	
6	Коэффициент-дефлятор	2017 г. - 1,425; 2016 г. -1,329	Приказ Минэкономразвития России	Применяется для дооценки основных и оборотных средств организации.
7	Налог на прибыль	Ставка 20 %	Глава 25 Налоговый кодекс РФ	Для предприятий, работающих на общих основаниях
№ п/п	Вид норматива, нормативная база	Характеристика	Источник	Методические указания
8	Налог на добавленную стоимость	Ставка 20 %	Глава 21 Налоговый кодекс РФ	Для предприятий, работающих на общих основаниях

Результаты сметного расчёта затрат для каждой из статей приведены в таблицах 5.6 – 5.16.

Таблица 5.6 – Оборудование, использующееся для защиты газопровода от коррозии

№ п/п	Наименование материалов и комплектующих	Единица измерения	Количество	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1	В-ОПЕ-ТМ	шт.	55	135,00	7425,00
2	АЙСКЗ	шт.	55	90,00	4950,00
Итого					12375,00

Таблица 5.7 – Затраты необходимы для монтажа В-ОПЕ-ТМ

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Количество	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1	Строительно-монтажные работы	ед	1	95,00	95,00
2	Пуско-наладочные работы	ед	1	35,00	35,00
3	Проектно-изыскательные работы	ед	1	55,00	35,00
Итого					158,00

Таблица 5.8 – Затраты необходимы для монтажа АИСКЗ

№ п/п	Наименование материалов и комплектующих	Единица измерения	Количество	Цена, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
1	Строительно-монтажные работы	ед	1	80,00	80,00
2	Пуско-наладочные работы	ед	1	32,00	32,00
3	Проектно-изыскательные работы	ед	1	60,00	60,00
Итого					172,00

К расходам на оплату труда относятся суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.

Кроме того, в оплату труда входят премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др. Помимо этого, может начисляться стимулирующая или компенсирующая надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др.

Таблица 5.9 – Оплата труда

№ п/п	Наименование категории работников в 2020 году	Численность по штату (ед)	Средняя заработная плата одного чел. дня, руб.	Фонд з/платы в день	Количество дней проведения работ	Фонд з/платы на весь объем работ, тыс. руб.
1	Начальник участка	1	1000,00	1000,00	100,00	100,00
2	Ведущий инженер	2	650,00	1700,00	95,00	161,50
3	Инженер	4	425,00	750,00	84,00	63,00
4	Рабочий	8	315,00	6300,00	60,00	504,00
Итого		15				828,50

Таблица 5.10 – Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды

№	2018 г. (тыс. руб.)	По регрессивной шкале (среднегодовой %)	Сумма, тыс. руб.
1	142,50	30,00	42,75
2	144,00	30,00	43,20
3	144,00	30,00	43,20
4	204,00	30,00	61,20
5	634,50	0,2	1,27
Итого:			191,62

Размер годовых амортизационных отчислений на строительномонтажные работы рассчитывается исходя из уровня затрат на нормы амортизационных отчислений (2,4 %) и СМР. [64]

Таблица 5.11 – Амортизация основных средств при монтаже станций катодной защиты

№ п/п	Наименование основных средств	Кол-во	Балансовая стоимость единицы, тыс. руб.	Норма амортизационных отчислений, %	Время полезного использования в разработке % по 2017 году	Амортизация, тыс. руб.
1	В-ОПЕ-ТМ	55	135,00	2,40	30,00	53,46
2	АИСКЗ	55	90,00	2,40	30,00	35,64
Итого						89,10

Таблица 5.12 – Амортизация основных средств при монтаже станций катодной защиты

№ п/п	Наименование основных средств	Кол-во	Балансовая стоимость единицы, тыс. руб.	Норма амортизационных отчислений, %	Время полезного использования в разработке % по 2018 году	Амортизация, тыс. руб.
1	В-ОПЕ-ТМ	55	135,00	2,40	60,00	106,92
2	АИСКЗ	55	90,00	2,40	60,00	71,28
Итого						178,20

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов, утверждается в установленном порядке нормой амортизации, учитывающей ускоренную амортизацию их активной части.

Таблица 5.13 – Накладные расходы

№ п/п	Наименование затрат по направлениям затрат	Общий объем затрат, тыс. руб.	% накладных расходов	Сумма накладных расходов, тыс. руб.
1	Спецоборудование	12385,00	10	1 237,50
2	Услуги для монтажа	172,00	10	17,20
3	Оплата труда	1463,00	10	146,30
4	Начисления на оплату труда	441,83	10	44,19
5	Амортизация основных средств	267,30	10	26,73
Итого накладные				1471,91

Таблица 5.14 – Прочие расходы для прокладки трубопровода

№ п/п	Виды оплаты	Сумма оплаты, тыс. руб.
1	Прочие расходы: – коммунальные услуги – оплата услуг связи	2,94 2,67 0,27

Таблица 5.15 – Смета затрат на монтаж станций катодной защиты

№ п/п	Статьи затрат	В-ОПЕ-ТМ	АИСКЗ
		Сумма затрат, тыс. руб.	
1	Спецоборудование	7425,00	4950,00
2	Услуги для монтажа	185,00	172,00
3	Оплата труда	828,50	828,50
4	Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды	250,21	250,21
5	Амортизация основных фондов	53,46	35,64
6	Командировка и служебные разъезды	364,40	364,40
7	Накладные расходы	1471,91	1471,91
8	Прочие расходы	364,40	364,40
9	Итого собственных затрат	10942,88	8437,06

На основании расчетов затрат определяем общую сумму затрат на проведение мероприятия по установке оборудования.

На рисунке 5.16 представлена динамика основных затрат при сравнительном анализе стоимости установки станций катодной защиты. Основные затраты зависят от цены услуг на проектирование работ, монтаж и испытания оборудования. Затраты на монтаж составляет менее 200 тыс. руб., в то время как оплата труда и страховые взносы превышает 800 тыс. руб.

Наибольший процент затрат составляет заработная плата и страховые взносы при установке В-ОПЕ-ТМ (79%) и АИСКЗ (81%), услуги для монтажа в равных долях для обоих видов станций катодной защиты равняется 16% (рисунок 5.17).

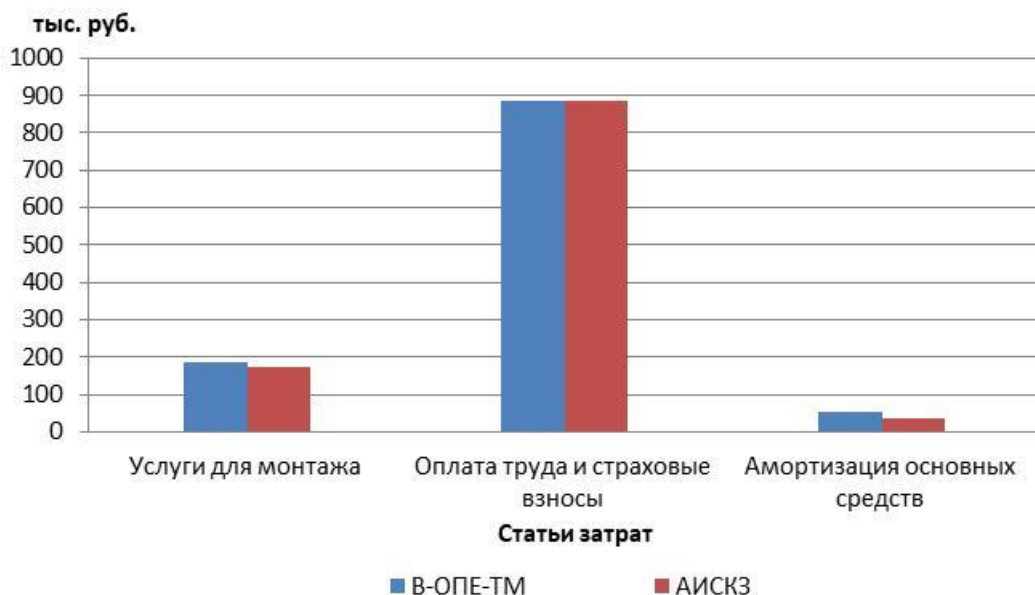
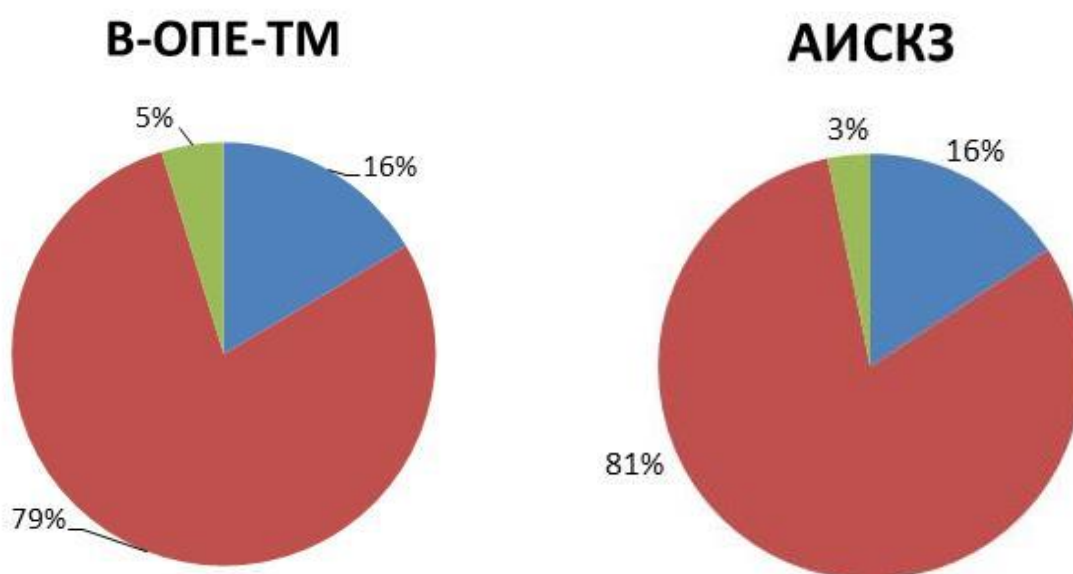


Рисунок 5.16 – Динамика основных затрат



- Услуги для монтажа
- Оплата труда и страховые взносы
- Амортизация основных средств

Рисунок 5.17 – Структура затрат на выполнение работ с разными материалами труб

По таблице 5.15 видно, что наиболее выгодно в установке и эксплуатации станция катодной защиты типа АИСКЗ. Так как для проектирования, установки и испытания необходимо 8437,06 тыс. руб., когда для проведения таких же работ с В-ОПЕ-ТМ цена возрастает до 10942,88 тыс. руб.

Вывод: При проведении строительно-монтажных работ станций катодной защиты необходимо учитывать экономические затраты на стоимость услуг представляемые контрагентами, а также фонд заработной платы предприятия должен соответствовать работе высококвалифицированных работников. Если же учитывать ресурс АИСКЗ и В-ОПЕ-ТМ, то можно однозначно считать, что АИСКЗ на производстве прослужит около 15 лет, что превышает срок службы В-ОПЕ-ТМ на 6 лет. Кроме того, стоимость монтажных работах АИСКЗ ниже на 22%, чем при монтаже В-ОПЕ-ТМ. В данном случае наиболее эффективно устанавливать и эксплуатировать станцию катодной защиты с импульсным преобразователем, а не автоматические выпрямители.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Глава 6. Социальная ответственность

Данная диссертационная работа посвящена исследованию станций катодной защиты, которая защищает магистральный газопровод от подземных коррозий.

В соответствии с ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [19] станция катодной защиты относится к опасному производственному объекту. Опасными и вредными факторами при рабочем процессе являются опасность поражения электрическим током, взрыво- и пожароопасность, движущиеся машины и механизмы, недостаточная освещенность и загазованность рабочего места, повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, работы на высоте.

В данном разделе рассмотрены основные вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с техникой безопасности, производственной безопасностью и нормами санитарии на производстве.

Разработка статистических методов контроля параметров работы станций катодной защиты магистральных газопроводов осуществлялась в учебно-исследовательской лаборатории в здании корпоративного института «Газпром трансгаз Томск».

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [66] по затрате энергии организмом человека, работа в лаборатории относится к категории Ib, характеризующаяся легкой физической нагрузкой, не требующей поднятия и переноса тяжестей. Данная работа производится в основном в сидячем положении, стоя или связана с ходьбой.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов			
Разраб.		Копырин К.П.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Зарцбина О.Н.					98	139
Консульт.		Черемискина М.С.				НИ ТПУ гр. 2БМ81		
Рцк-ль ООП		Шадрина А.В.						

Таким образом, с целью безопасности для работников, общества и окружающей среды необходимо разработать комплекс мероприятий организационного и технического характера, минимизирующие неблагоприятные последствия данной деятельности с учетом специфики работы.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Трудовому кодексу РФ работник имеет право на:

- заключение, изменение и расторжение трудового договора в порядке и на условиях, которые установлены настоящим Кодексом, иными федеральными законами;

- предоставление ему работы, обусловленной трудовым договором;

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;

- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами;

- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами.

Работник обязан:

- добросовестно исполнять свои трудовые обязанности, возложенные на него трудовым договором;

- соблюдать правила внутреннего трудового распорядка;

- соблюдать трудовую дисциплину;

- выполнять установленные нормы труда;

- соблюдать требования по охране труда и обеспечению безопасности труда;

- бережно относиться к имуществу работодателя (в том числе к имуществу третьих лиц, находящемуся у работодателя, если работодатель несет ответственность за сохранность этого имущества) и других работников;

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						99
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

• незамедлительно сообщить работодателю либо непосредственному руководителю о возникновении ситуации, представляющей угрозу жизни и здоровью людей, сохранности имущества работодателя (в том числе имущества третьих лиц, находящегося у работодателя, если работодатель несет ответственность за сохранность этого имущества).

Продолжительность ежедневной работы (смены) для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

- при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов;
- при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов.

Коллективным договором может быть предусмотрено увеличение продолжительности ежедневной работы (смены) по сравнению с продолжительностью ежедневной работы (смены), установленной частью второй настоящей статьи для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, при условии соблюдения предельной еженедельной продолжительности рабочего времени (часть первая статьи 92 настоящего Кодекса) и гигиенических нормативов условий труда, установленных федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

В случае если для проведения работ задействованы работники, работающие по вахтовому методу, то режим работы изменяется следующим образом:

При вахтовом методе работы устанавливается суммированный учет рабочего времени за месяц, квартал или иной более длительный период, но не более чем за один год.

Что касается, персональной информации работника подразумевает соблюдение определенных правил. Целью соблюдения правил является обеспечение прав и свобод гражданина и человека. Выполнять требования по

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						100
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

обработке должны работодатель и его представитель, выполняющий эти обязанности. Требования к защите персональных данных работника установлены в 14 главе Трудового Кодекса РФ.

6.2 Производственная безопасность

Данный раздел посвящен выявлению вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ в учебно-исследовательской лаборатории в корпоративном институте.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Монтаж	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [66];
2. Поражение электрическим током. Электрическая дуга и металлические искры при сварке	+		+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 [71];
3. Повышенный уровень ионизирующих излучений	+		+	СанПиН 2.2.4.1191-03 [70];
4. Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 [68]; СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [69];

5. Пожаробезопасность	+	+	+	Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ [72]; ГОСТ 12.1.004-91 [73];
6. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95 [67]

6.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Повышенная и пониженная температура воздуха рабочей зоны

Существует понятие микроклимат, по которым понимаются различные метеорологические условия среды внутри кабинета, где осуществляется рабочая деятельность. Условия работы определяются рядом параметров, которые воздействуют на организм человека:

- температура воздуха [°C];
- относительная влажность [%];
- скорость движения воздуха [м/с];
- интенсивность теплового облучения [Дж/с·м²].

Оптимальные условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение работы. Эти условия должны быть установлены с расчетом минимизации факторов, способных вызвать у работников отклонения в состоянии здоровья. Кроме этого оптимальные климатические условия способствуют высокому уровню работоспособности.

В таблицах № 6.2 и № 6.3 согласно СанПиН 2.2.4.548-96 содержится информация оптимальных и допустимых показателей микроклимата в производственных помещениях для рабочей категории Ib по уровню энергозатрат [66].

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений [66]

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Iб (140-174)	Холодный	21-23	40-60	0,1
	Теплый	22-24	40-60	0,1

Таблица 6.3 – Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений [66]

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Дип. ниже о.в.	Дип. выше о.в.		Дип. ниже о.в.	Дип. выше о.в.
Iб (140-174)	Холодный	19 – 20,9	23,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
	Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	15 – 75	0,1	0,3

Недопустимые условия микроклимата могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. В основном, такие условия устанавливаются, в случае, если по каким-то причинам невозможно обеспечить оптимальные микроклиматические условия.

Отопление Корпоративного института осуществляется посредством центрального водяного отопления, в частности лаборатория, в которой производилась работа, имеются радиаторы отопления.

Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум – это беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. Уровень шума в помещении измеряется шумомером. К производственным шумам относятся все звуки, источниками которых являются используемые на производстве машины, приборы и механизмы.

Со стороны физиологии шум оценивается как фактор, несущий вред здоровью человека. Шум может привести к раздражительности работника,

ослаблению его внимания, ухудшению мыслительной деятельности, а значит к снижению работоспособности. Более того, сильный продолжительный эффект оказывает негативное влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы, а также может привести к понижению слуха.

Перед началом работы в лаборатории, проводится измерение шума измерителем УТ351. Точность шумомера составляет 1,5 дБ. Значение уровня шума в лаборатории не превышает 60 дБА, что не противоречит ГОСТ 12.1.003-2014 [68]. Так как предельно допустимый уровень шума составляет 70 дБА, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [69]. К тому же, институт находится на достаточно далеком расстоянии автомобильных и железных дорог, аэропортов и других источников постороннего шума.

Повышенный уровень ионизирующих излучений

Практически все электронные приборы создают электромагнитные поля, способные оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека. Внутренние органы человека можно условно разделить на электролиты (жидкие ткани) и диэлектрики (сухожилия, хрящи и т.д.). При воздействии переменного электромагнитного поля на организм человека происходит нагрев биологических тканей, как за счет переменной составляющей поляризации диэлектрика, так и за счет появления ионных токов проводимости. Такой тепловой эффект обусловлен поглощением тканями энергии электромагнитного поля. Благодаря внутреннему механизму терморегуляции организм человека отводит от себя избыточное тепло, однако при достижении так называемого теплового порога происходит нарушение данного механизма терморегуляции. В этом случае органы с большим содержанием в тканях жидкой составляющей более подвержены воздействию данного эффекта. Обычно эти же органы характеризуются менее интенсивной терморегуляцией. К таким органам относят: органы зрения, почки, мозг, желудок, желчный пузырь. Таким образом, электромагнитное поле наиболее опасно для перечисленных органов.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						104
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

В производственном помещении генерацию вредоносного электромагнитного излучения осуществляют различные контрольно-измерительные приборы в ходе их эксплуатации. В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 [70] должны быть соблюдены допустимые уровни электростатического и магнитного полей, превышение которых может привести к развитию профессиональных заболеваний.

При напряженностях электростатического поля, превышающих 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается. Если же напряженность электростатического поля составляет менее 20 кВ/м, то в этом случае время пребывания в электростатических полях не регламентируется. С целью минимизации воздействия электромагнитного излучения на организм человека на практике применяется экранирование возможных источников излучений.

Основным источником электромагнитного излучения в лаборатории Корпоративного института является компьютер. Максимальная частота излучения на расстоянии 10 см от компьютера (между телом человека и процессором) составляет от 4 до 20 мГц.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Обеспечение нормальной освещенности является одним из наиболее важных условий работы. При плохом освещении работник испытывает утомление органов зрения и организма в целом. Также помещение должно исключать меры освещенности, такие как слепящие лампы, плохо освещенные опасные зоны и т.д.

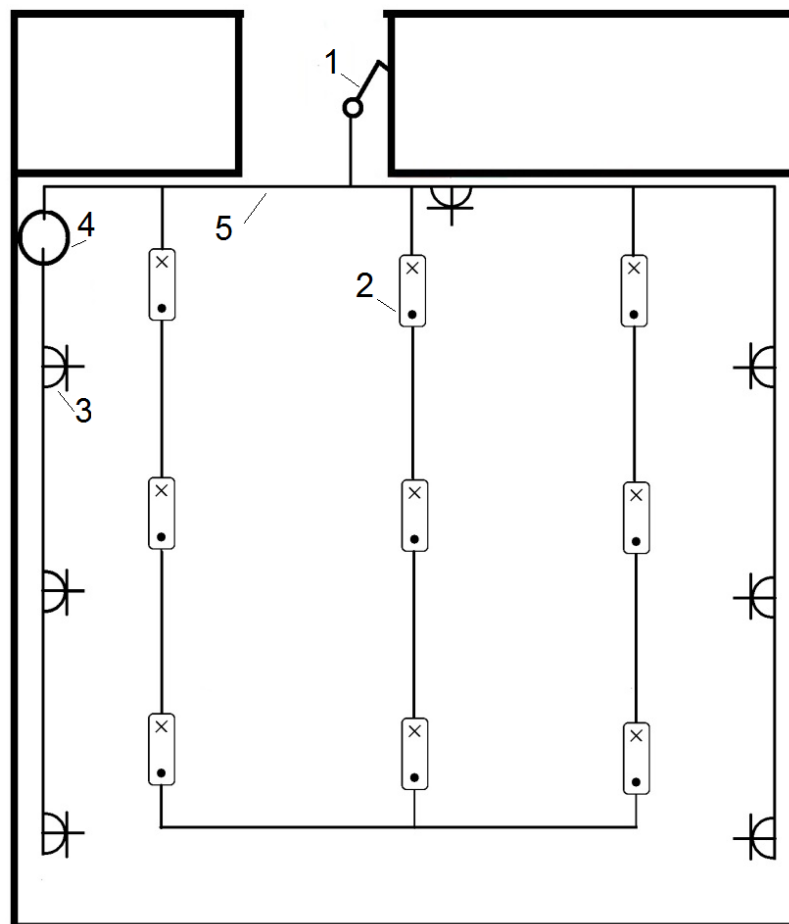
Как правило, на практике совмещают два вида освещения: естественное и искусственное. Вместе эти два вида представляют собой комбинированное освещение. В свою очередь искусственное освещение может быть местным, то есть предназначенным для освещения исключительно рабочих поверхностей (таблица 6.4).

В данной лаборатории в качестве источников света используются газоразрядные лампы низкого давления белой цветности (рис. 6.1).

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

Таблица 6.4 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий [66]

Характеристика зрительной работы				Средней точности
Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм				Св. 0,5 до 1,0
Разряд зрительной работы				IV
Подразряд зрительной работы				б
Контраст объекта с фоном				Средний
Характеристика фона				Средний Темный
Искусственное освещение	Освещенность, лк	при системе комбинированн ого освещения	всего	500
			в том числе от общего	200
	при системе общего освещения			200
	P , не более			40
	K_z , %, не более			20
Естественное освещение	КЕО e_n , %	при верхнем или комбинированном освещении		4,0
		при боковом освещении		1,5
Совмещенное освещение		при верхнем или комбинированном освещении		2,4
		при боковом освещении		0,9



1-выключатель одноклавишный; 2-газоразрядные лампы низкого давления; 3-розетка штепсельная с заземляющими контактами; 4-коробка ответвления; 5-провода силовой цепи

Рисунок 6.5 – План освещения в лаборатории

Лампы обеспечивают как искусственное общее, так и искусственное местное освещение. Коэффициент пульсации ламп K_p не превышает 20% [71].

Электрический ток

Согласно требованиям электробезопасности ГОСТ Р 12.1.019-2009 [72] электрооборудование и приборы, находящиеся в лаборатории, расположены на специально отведенных местах и заземлены. Сопротивление заземления при этом не должно превышать 4 Ом, что соответствует нормам [72].

К средствам защиты относят:

- изолирующие клещи;
- диэлектрические перчатки, боты;

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

- индивидуальные экранирующие комплекты;
- плакаты и знаки безопасности;
- оградительные устройства.

В качестве организационно-технических мер обеспечения электробезопасности используются методы ориентации, к которым относят: специальная маркировка частей электрооборудования, предупредительные знаки, надписи и таблички, окраска токоведущих частей [73].

В целях безопасности перед работой проверяется целостность изоляции электрических проводов. Такая процедура позволяет своевременно выявить и устранить возможные повреждения.

Степень поражения организма человека зависит от способа прохождения тока по телу, силы и напряжения тока, времени воздействия, состояния здоровья, возраста, а также своевременности оказания пострадавшему первой помощи.

При работе в лаборатории возможно оголение проводов, что может привести к одной из четырех степеней тяжести электротравм:

- электротравма I степени тяжести характеризуется судорожными сокращениями скелетных мышц, но потери сознания при этом не происходит;
- при электротравме II степени тяжести кроме судорог происходит еще и потеря сознания, однако дыхание и работа сердца при этом не нарушаются;
- электротравма III степени тяжести характеризуется судорогами, потерей сознания, нарушением работы сердца и нарушением дыхания;
- при электротравме IV степени тяжести наступает клиническая смерть.

Для работы с установкой нет необходимости получать удостоверение по электробезопасности с определенной группой допуска. Так как работа происходит не под высоким напряжением.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						108
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

При работе с компьютером необходимо соблюдать правила техники безопасности: перед работой проверить целостность проводов; включить компьютер и программу для обработки результатов.

После окончания работы необходимо отключить установку, привести в порядок рабочее место.

Пожаровзрывобезопасность

Согласно ТР о требованиях пожарной безопасности N123 – ФЗ [73] данная лаборатория относится к помещениям по степени пожароопасности класса Д. Работы на производстве с данной категорией связаны с обработкой веществ и материалов в холодном состоянии.

К возможным причинам пожара относят:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- незнание или небрежность обслуживающего персонала;
- курение в неположенных местах.

Таким образом, необходимо выполнять следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается включать дополнительные не предусмотренные устройства;
- работы в лаборатории проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- иметь в наличии план эвакуации людей, который должен висеть на видном месте;
- проход к выходу должен не должен загромождаться.

Помимо этого в целях пожарной безопасности работающему персоналу запрещается:

- пользоваться открытым огнем, курить;
- хранить легко воспламеняющиеся вещества [72].

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						109
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Лаборатория соответствует требованиям пожарной безопасности. В помещении установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеется в наличии порошковый огнетушитель. Помимо этого, в лаборатории имеются таблички с указанием направлений к эвакуационному выходу. Ежегодно проводятся занятия по технике безопасности в помещении, где сотрудники отвечают на ряд вопросов и расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности. Для работы с оборудованием в лаборатории нет необходимости иметь удостоверение по электробезопасности.

6.4 Экологическая безопасность

Согласно ГОСТ 17.2.1.01-76 [65] выбросы в атмосферу из источников загрязнения характеризуются по четырем признакам:

- по агрегатному состоянию;
- по массе вещества;
- по размеру частиц;
- по химическому составу.

Главным объектом исследования работы является станции катодной защиты, которые непосредственно взаимодействуют с трубопроводом, защищая его от коррозионного воздействия. СКЗ работает от сети напряжением 220 В, соответственно при работе выделяет тепло, но не вырабатывает вредные вещества, которые выбрасывались бы в атмосферу.

При монтаже СКЗ снимался верхний слой грунта, для укладки бетонных блоков, а также для монтажа блок-бокса [66]. Другими словами, на литосферу влияет - снятие плодородного грунта, что приводит к деградации почвы. Следовательно, в дальнейшем отрицательно будет воздействовать на ее плодородность.

При эксплуатации станции катодной защиты на гидросферу существенных проблем отсутствуют, так как сама станция стоит внутри лаборатории или вагона.

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

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – внешне неожиданная, внезапно возникающая обстановка, характеризующаяся резким нарушением установившегося процесса или явления и оказывающая значительное отрицательное воздействие на жизнедеятельность людей, функционирование экономики, социальную сферу, и природную среду [67].

Чрезвычайные ситуации классифицируют по двум основным признакам: по причинам возникновения, по масштабу распространения и по скорости распространения. К первому признаку можно отнести:

- стихийные бедствия (землетрясения, оползни, ураганы, снежные заносы, грозы, ливни и др.);
- техногенные катастрофы (аварии на энергетических, химических, биотехнологических объектах, транспортных коммуникациях при перевозке разрядных грузов, продуктопроводах и т.д.);
- антропогенные катастрофы (катастрофические изменения биосферы под воздействием научно-технического прогресса и хозяйственной деятельности);
- социально-политические конфликты (военные, социальные).

Классификация по масштабу распространения с учетом тяжести последствий:

- локальные;
- муниципальные;
- межмуниципальные;
- региональные;
- межрегиональные;
- федеральные.

К третьему признаку относится темп распространения:

- внезапные;
- быстро распространяющиеся;
- умеренные;

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						111
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

– «ползучие» катастрофы.

К чрезвычайным ситуациям в лаборатории корпоративного института «Газпром трансгаз Томск» можно отнести возгорание локального масштаба. Возникновение пожара, причиной которого могут быть неисправности в используемом электрооборудовании, нарушение правил эксплуатации оборудования, требований безопасности.

Аварии, причиной которых являются стихийные факторы, в нашем случае исключены, поскольку институт находится в городе Томске, географическое положение которого исключает сильные землетрясения, наводнения и прочие стихийные бедствия. К возможным причинам возникновения чрезвычайной ситуации обусловленной природными явлениями следует отнести сильные морозы в зимнее время года. К мерам по предупреждению последствий морозов можно отнести наличие резервного отопления и резервных электрогенераторов.

В случае возникновения аварийной ситуации работники лаборатории обязаны прекратить работу и сообщить о случившемся заведующему корпоративного института. Далее выполнять его указания по устранению возникшей аварийной ситуации.

Возможные чрезвычайные ситуации в учебно-исследовательской лаборатории в корпоративном институте:

- при выявлении нарушении изоляции проводки, выключить питание и сообщить об этом заведующему лаборатории;
- при коротком замыкании необходимо обесточить сеть и сообщить ответственному лаборатории;
- при перегрузке сети, приводящей к сильному нагреву токоведущих частей и оборудования: обесточить сеть, подождать, когда оборудование остынет, проверить целостность проводов, сообщить заведующему лаборатории.

Здание института построено из кирпича, который является негорючим материалом. Зданиям из негорючего материала присваивают

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						112
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

вторую степень огнестойкости. Сама же лаборатория имеет категорию Д по степени пожароопасности, поскольку содержит негорючие материалы в холодном состоянии.

При возникновении пожара, работник лаборатории должен [68]:

–сообщить по телефону в пожарную охрану (необходимо назвать место возникновения пожара, сообщить свою фамилию);

–принять меры по вызову к месту пожара своего непосредственного руководителя или другого ответственного лица;

–отключить электрооборудование, электрические приборы, аппараты и электропитание в помещении, где возник пожар;

–выключить приточно-вытяжную вентиляцию;

–вынести из помещения сосуды с огне- и взрывоопасными веществами (если имеются), используя при необходимости индивидуальные средства защиты органов дыхания;

–приступить к ликвидации пожара, используя первичные средства пожаротушения.

Выход является эвакуационным, если они ведут из помещений первого этажа наружу.

Согласно СНиП 21-01-97 [69] лаборатория предусмотрена для одновременного пребывания менее 10 человек, помещение находится на первом этаже, а расстояние от земли до окон со стороны улицы составляет менее 2 м., но так как окна не являются эвакуационными выходами, то аварийных выход может быть один, как показано на рисунке 6.5.

В качестве первичного средства пожаротушения в учебно-исследовательской лаборатории находится огнетушитель ОУ-7 объемом 10 литров.

В случаях требующих вмешательство неотложной медицинской помощи, – отравление угарным газом, ожоги. Ушибы, переломы, ранения, поражения электрическим током и т.д. Все работники лаборатории должны

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						113
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

уметь оказать первую неотложную помощь пострадавшим и обязательно вызвать врача.

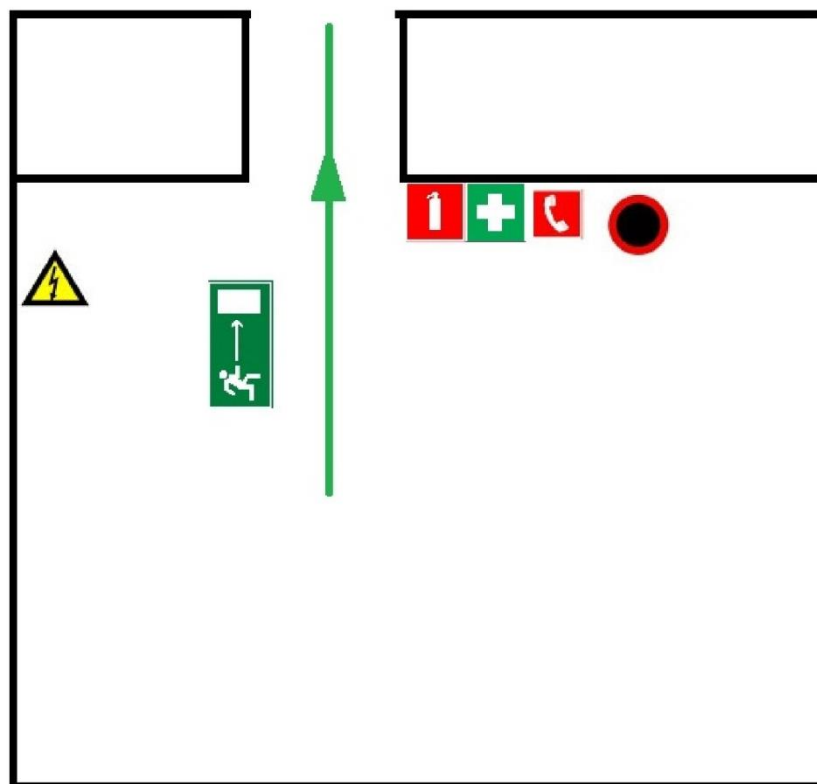


Рисунок 6.5 – План эвакуации из учебно-исследовательской лаборатории
Корпоративного института

Оказывающий помощь должен произвести следующие действия [69]:

–оценить сложившуюся обстановку.

–принять меры к прекращению травмирующего воздействия повреждающих факторов (потушить горящую одежду, вынести пострадавшего из горящего помещения или из зоны заражения ядовитыми веществами и т.п.).

–дать указания о вызове скорой медицинской помощи или организовать доставку пострадавшего в ближайшее медицинское учреждение.

–при необходимости восстановить проходимость дыхательных путей. Провести искусственную вентиляцию легких. Восстановить кровообращение. Оказать другие виды помощи.

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

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» представлены анализ вредных и опасных факторов, которые, в свою очередь, влияют на состояние здоровья сотрудников при рабочем процессе. Также в этом разделе представлены рекомендации и обязательные меры для безопасной работы во время исследования станций катодной защиты. При ЧС сформированы мероприятия по уменьшению возникновения ЧС и повышения устойчивости объекта. Выявлены типовые ЧС и разработан план ликвидации пожара. Для рабочего персонала предусмотрены первичные средства пожаротушения. В случае травмы, работник должен знать и оказать первую медицинскую помощь пострадавшим.

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

Заключение

В данной магистерской диссертации привели выбор оптимальных параметров работы станции катодной защиты с применением статистических методов для обеспечения надежной эксплуатации газопровода. Представили расчет противокоррозионной защиты с учетом применения статистического метода контрольных карт Шухарта.

В ходе работы были выполнены следующие задачи:

- Рассмотрена нормативно – техническая база, действующая в области проектировании электрохимической защиты подземных трубопроводов.
- На основе литературного материала провели анализ существующих методов оптимизации станций катодной защиты.
- Произведен противокоррозионный расчет электрических характеристик газопровода, расчет параметров установок катодной защиты и расчет параметров анодного заземления с учетом применения статистического метода.
- Согласно полученным данным, рекомендовано оборудование, соответствующее к требованиям и входящее в реестр ПАО «Газпром».
- Рассчитали эффективность затрат на монтажные работы между двумя станциями катодной защиты (АИСКЗ на 22% дешевле, чем В-ОПЕ-ТМ).

На основании экспериментальных данных проверяли статистически контролируемое состояние работы станции катодной защиты, а также влияние блуждающего тока на работу этой же станции катодной защиты. Результаты обработки показали целесообразность использования

					<i>Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Копырин К.П.</i>			Заключение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Зарибина О.Н.</i>					116	139*
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

статистического метода для контроля защитного потенциала, так как в 2017, 2018 и 2019 существуют участки, которые являются статистически нестабильными.

Установили причину нестабильных процессов – блуждающие токи. Чтобы избежать влияния блуждающих токов необходимо увеличить ограничительные пределы значения защитного потенциала при работе станции катодной защиты, чтобы избежать воздействия на трубопровод.

Далее рассматривали отдельный участок длиной 60 км, который обслуживается 5ти станциями катодной защиты. По полученным экспериментальным данным с помощью математического моделирования были построены кривые распределения потенциала по длине трубопровода от точки дренажа на шести станциях катодной защиты. Значения потенциала третьей и четвертой станции катодной защиты перекрываются друг другом на 99 %, что говорит о возможности полного отключения четвертой станции катодной защиты от питания ЛЭП.

Регулирование защитного потенциала станций катодной защиты осуществляется дискретным методом, были определены точки пересечения кривых распределения по длине трубопровода. Диапазон защитного потенциала должен находиться в пределах от минус 1,6 до минус 1,4 В, в интервале от минус 0,975 В до минус 4,204 В

					Заключение	Лист
						117
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список литературы:

1.Луковников В. И., Погуляев М. Н., Хабибуллин Д. А. Устройство стабилизации потенциала «Труба-земля» для станций катодной защиты нефтепроводов //Вестник Гомельского государственного технического университета им. ПО Сухого. – 2001. – №. 1 (4).

2.Щербинин И. А., Денисов П. Ю., Болотов Д. А. Особенности проектирования антикоррозионной защиты промышленных трубопроводов //Нефтяное хозяйство. – 2014. – №. 2. – С. 30-32.

3.Борисов, Б.И. Защитная способность изоляционных покрытий подземных трубопроводов / Б.И. Борисов. – М.: Недра, 1987. – 123 с.

4.Валуйская, Д.П. Результат обследования изоляционного покрытия из поливинилхлоридных лент / Д.П. Валуйская, В.Е. Серифимович // Строительство трубопроводов. – 1966. – № 9. – с. 16-18.

5.Гарбер, Ю.И. Парметры работоспособности противокоррозионных покрытий подземных трубопроводов за рубежом / Ю.И. Гарбер – М.: Машиностроение, 1987. – 687 с.

6.Гумеров Р.С. Изоляционные материалы для трубопроводов / Р.С. Гумеров, М.К. Рамеев, М.Ш. Ибрагимов // Трубопроводный транспорт нефти. – 1996. – №1. – с.22.

7.Зиневич, А.М. Прогнозирование долговечности защитных покрытий подземных трубопроводов / А.М. Зиневич // Строительство трубопроводов. – 1971. – №11. – с. 13-14.

8.ТИАЛ [Электронный ресурс] // изоляция газопроводов. URL: <http://www.tial.ru/izolyaciya-gazoprovodov> (дата обращения: 20.04.2006)

					<i>Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Копырин К.П.</i>			<i>Список литературы</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Зарибина О.Н.</i>					118	139*
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр. 2БМ81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

9.Марченко А.Ф. Количественные показатели защитных покрытий подземных трубопроводов. / А.Ф. Марченко // Проектирование и строительство трубопроводов и нефтегазопромысловых сооружений. – Вып. 3, 1976. – с. 23-31.

10.РД 39Р-00147105-025-02 Методика определения остаточного ресурса изоляционных покрытий подземных трубопроводов [Текст]. – Уфа. 2002. – 23с.

11.Александров Ю. В., Агиней Р. В. Актуальные вопросы защиты от коррозии длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов //Недра. – 2012. – Т. 394.

12.Мустафин Ф. М. Обзор методов защиты трубопроводов от коррозии изоляционными покрытиями //Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2003. – №. 1.

13.Шемякин А. В. и др. Повышение эффективности противокоррозионной защиты стыковых и сварных соединений сельскохозяйственных машин консервационными материалами //Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – №. 2. – С. 87-91.

14.Никулин С. А. Повышение эффективности предотвращения коррозии нефтегазопроводов на основе оптимального регулирования режимов работы станций катодной защиты : дис. – Ухта, 2015, 2015.

15.Шемякин А. В. и др. Повышение эффективности противокоррозионной защиты стыковых и сварных соединений сельскохозяйственных машин консервационными материалами //Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – №. 2. – С. 87-91.

16.Глазов, Н.П. Методы контроля и измерений при защите подземных сооружений от коррозии / Н.П. Глазов, И.В. Стижевский, А.М. Калашникова и др. – М.: Недра, 1978. – с. 127

17.ГОСТ Р 51164 – 98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии; Введ. 01.07.99. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 45 с.

					Список литературы	Лист
						119
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

18.Фрейман, Л.И. Об оценке коррозивности грунта по отношению к углеродистым сталям с учетом минимального катодного защитного потенциала и об одном из методов его определения / Л.И. Фрейман, Б.П. Прибытко // Защита металлов, том 29. № 3. 1993. С. 440-447

19.Васильев, В.С. Применение программно-технических средств телемеханики УНК ТМ для оптимизации режимов СКЗ и диагностики нарушений изоляции трубопроводов / В.С. Васильев, С.А. Жаров, С.Ю. Покровский // В сб. Диагностика оборудования и трубопроводов. – М.: ИРЦ Газпром, 2000. №5, с. 23-30.

20.РД 29.200-00-КТН-047-14 – Обследование коррозионного состояния магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Введ. 21.04.2014. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2014. 153 с.

21.ПБ 12-529-03 (ПБ 03-576-03). Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления. Серия 12. Вып. 4. – М.: ГУП НТЦ Промышленная безопасность, 2003. – 200с.

22.РД 153-39.4-091-01. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. М., 2002. – 202 с.

23.Винокурцев А.Г., Винокурцев Г.Г., Иванов В.В., Первунин В.Г., Крупин В.А., Коломиец В.В. Новые технологические средства для исследований эффективности электрохимической защиты систем городского газоснабжения // Коррозия территории «Нефтегаз». – 2006 – № 1 (3). – Апрель. – с. 34-40.

24.Винокурцев А. Г. и др. Результаты исследования эффективности электрохимической защиты городских систем газоснабжения //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2007. – №. 1.

25.Сирота, Д.С. Анализ методов контроля защищенности магистральных газопроводов от коррозии по величине потенциала с использованием электродов сравнения / Д.С. Сирота, Н.А. Улихин // Аналитик-2010. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2011. – С. 3–30.

					Список литературы	Лист
						120
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

26.Трифель, М.С. Катодная защита с автоматическим регулированием тока для морских промысловых сооружений (на примере Азербайджанского ССР) / М.С. Трифель // Серия «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности». – М. : ВНИИОЭНГ, 1973 – 51 с.

27.Сулимина Е. Ю. Методы регулирования катодной защиты при периодической поляризации //Глобальный научный потенциал. – 2012. – №. 13. – С. 94-99

28.Руководство по эксплуатации систем противокоррозионной защиты трубопроводов (РЭСПКЗ-2004). – М.: – ВНИИГАЗ. – 2004.

29.РД 12-411-01. Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов. – М, 2001. – Серия 12. Вып. 3.

30.Осколков Г.Н., Тарасов В.В., Андреев В.Е. и др. Справочник по базовому оборудованию и приборам для газораспределительных организаций. Т. 1. Оборудование и приборы по защите от коррозии. – М.: ООО «ИРЦ Газпром» 2005 . – 112 с.

31.12 Донекуан патент США № 3612064

32.Первунин В.В., Винокурцев Г.Г., Винокурцев А.Г., Крупин В.А. Об автоматизации технологических процессов электрохимической защиты газопроводов // Техносферная безопасность: Материалы Всероссийской научн.-практ. Конф. – Ростов-н/Д. – 2005. Вып. VII – с. 548-552

33.Иваненков В.В., Гиззатуллин Р.Р., Гумеров К.М. Моделирование работы ЭХЗ методом конечных элементов // <http://www.tech-biblio.ru>. – 10 с.

34.Болотников А.М., Глазов Н.П. и др. Математическое моделирование и численное исследование электрических полей в системах с протяженными электродами // Вестник Башкирского университета. 2006. №2. – с. 17-21.

35.Ткаченко В.Н. Электрохимическая защита трубопроводов / Учебное пособие. Волгоград: НП ИПД «Авторское право», 2005. – 234 с.

36.РД-91.020-00-КТН-234-10. Нормы проектирования электрохимической защиты магистральных трубопроводов и сооружений НПС.

					Список литературы	Лист
						121
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

37.Методика выполнения расчетов электрических характеристик защищаемых объектов МН: ЗАО «ВНИИСТ-Диагностика». – 2006. – 13с.

38.РД-91.020.00-КТН-259-10. Нормы и правила проектирования заземляющих устройств объектов магистральных нефтепродуктопроводов организаций системы «Транснефть».

39.B.N. Popov, J.W. Lee, Cathodic protection of pipelines (Handbook of Environmental Degradation of Materials, WA, 2018)

40.STO Gazprom 2-3.5-047-2006 Instructions for the calculation and design of electrochemical corrosion protection of gas pipelines (Proprietary Standard, 2006)

41.I.W. Burr, *Statistical quality control methods* (Routledge, 2018)

42.C.I. Ossai, B. Boswell, I.J. Davies, *Eng. Fail. Anal.*, **53** (2015)

43.Bahadori, *Cathodic Corrosion Protection Systems* (GPP, 2014)

44.M. Ormellese, A. Brenna, *Cathodic Protection and Prevention: Principles, Applications and Monitoring* (RG, 2017)

45.ГОСТ Р 51164 – 98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии; Введ. 01.07.99. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 45 с.

46.ISO 7870–2:2013. *Control charts. Part 2: Shewhart control charts*

47.S.R. Allahkaram, M. Isakhani-Zakaria, M. Derakhshani, M. Samadian, H. Sharifi-Rasaey, A. Razmjoo, *J. Nat. Gas. Sci. Eng.*, **26** (2015)

48.M. Dai, J. Liu, F. Huang, Y. Zhang, Y.F. Cheng, *Corros. Sci.*, **143** (2018)

49.Методика проведения электрометрического обследования коммуникаций промплощадок. – М.: ПАО «Газпром», 1999, 39 с.

50.Фатрахманов Ф.К. Концепция и пути оптимизации катодной защиты коммуникаций промплощадок / Ф.К. Фатрахманов // Науч-техн. сбор. Современные проблемы трубопроводного транспорта. – М: ВНИИГАЗ, 1998, 408-411с.

51.Фатрахманов Ф.К. Опыт оптимизации катодной защиты сложных коммуникаций промплощадок. «Международный научно-технический

					Список литературы	Лист
						122
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

семинар по проблемам защиты от коррозии подземных сооружений ПАО «Газпром» / Ф.К. Фатрахманов // Материалы совещаний, конференций семинаров. – М: ИРЦ Газпром, 1996. С 39-45.

52.Рудой В. М., Останин Н. И., Зайков Ю. П. Проектирование катодной защиты подземных трубопроводов //Екатеринбург: УГТУ-УПИ. – 2005.

53.ТУ 3415-001-46164008-2007 Выпрямитель для катодной защиты типа «Энергомера» В-ОПЕ-МЗ серия В.

54.Методические указания для выполнения раздела выпускной квалификационной работы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: методические указания / Г.Ю. Боярко, О.В. Пожарницкая., В.Б. Романюк, А.А., Вазим, и др.,; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 166 с.

55.Каганов, В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютерный курс: Учебное пособие. / В.И. Каганов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М. 2011. – 432 с.

56.Постановление Совмина СССР от 22.10.1990 N 1072 «О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР»

57.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 9 с.

58.СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное помещение. – М.: Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, 1995. – 36 с.

59.ГОСТ 12.1.003-99. Шум. Общие требования безопасности труда. – Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 9 с.

60.СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях общественных зданий и на территории жилой стройки. – Москва: Разработан научно-исследовательским институтом медицины труда Российской академии медицинских наук, 1996. – 21 с.

					Список литературы	Лист
						123
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

61.СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. –38 с.

62.ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт охраны и экономики труда, 2009. – 32 с.

63.Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – Новосибирск: Норматика, 2016. – 205 с.

64.ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. – М.: Госстандарт России, 1991. – 126 с.

65.ГОСТ 17.2.1.01.76. Охрана природы. Атмосферы. Классификация выбросов по составу. – М.: Государственный комитет стандартов совета министров СССР, 1976. – 13 с.

66.Оборудование технологии разработки. Блог технической поддержки разработок. URL: <http://mypractic.ru/stancii-katodnoj-zashhity.html> (Дата обращения: 20.04.2019)

67.ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий. – М.: Технический комитет о стандартизации, 1996. – 15 с.

68.Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.11.2008 № 2411р «Об утверждении инструкции по охране труда для работников химико-технических лабораторий ОАО «РЖД» // Собрание инструкций ОАО «РЖД». – 1 апреля 2008 г. – № 44.

69.СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: «НИЦ «Строительство», 2001. – 38 с.

70.Инструкция по оказанию первой доврачебной помощи при несчастных случаях на производстве. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2009. – 38 с.

					Список литературы	Лист
						124
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

71.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197 – ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017) // СПС «Консультант Плюс».

72.Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // СПС «Консультант Плюс».

					<i>Список литературы</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		125

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Chapter A

Organization of protection against corrosion of the linear part of the main gas pipeline with using statistical methods

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Копырин Константин Петрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Зарубина Оксана Николаевна	К.Х.Н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП;

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Поздеева Галина Петровна	к.ф.н.		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Организация работ по защите от коррозии линейной части магистрального газопровода с применением статистических методов		
Разраб.		Копырин К.П.					
Рцковод.		Зарубина О.Н.				126	139
Консульт.					Приложение А НИ ТПУ гр. 2БМ81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					

Chapter A. The development of methods for regulating the operation mode of cathodic protection stations

A.1 Statistical methods for monitoring the operation of cathodic protection stations

The engineering design of the pipeline electrochemical protection is an actual theme for the gas transportation systems [46]. According to [47] cathodic protection (CP) system should provide the necessary degree of potential protection. To obtain a certain level of protection quality of oil and gas transportation process, it is required to create a stable protection. The one of the main monitoring tasks is to achieving statistically stable state of processes that leads to reliability [48].

Operation of oil and gas complex takes place in various conditions with different corrosive activity [49]. In this regard, the problem of increasing the efficiency of monitoring of electrochemical protection is relevant. Statistical methods of data processing in combination with existing instrumental research methods will allow for more thorough analysis and improvement of electrochemical protection [50, 51].

The purpose of this study is to apply the statistical methods that improve the monitoring of the cathodic protection stations. The paper is aimed at identifying changes in the values of the protection potential. The study is devoted to select the criteria for ensuring and maintaining electrochemical protection at an acceptable and stable level, guaranteeing correspondence with the established requirements [47, 52].

The operation of cathodic protection stations are affected by variety of external influences, and for these reason characteristics of a process can be described mainly in terms of statistics.

The control limits are determined on the assumption that the process is stable with assumption of the normal distribution. If the process satisfies the requirements about stability, then it is considered controlled and is called the Shewhart process model.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						127
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

The range defined by two limits relative to the central line (CL), the mean of stable state data set [8]:

- UCL – upper control limit,
- LCL – lower control limit.

Limitation such as UCL and LCL are defined as a multiple of the standard deviation of the normal probability distribution of the process random variables from the expected value.

Depending on the adopted multiple value, the size of the limitations are:

$$UCL = \mu + k \cdot \sigma, \quad (3.1)$$

$$LCL = \mu - k \cdot \sigma, \quad (3.2)$$

where: μ – mean of data set at the statistically stable state;

σ – standard deviation for the statistically stable state;

k – constant.

The values, k , are used as special limits, the so-called alert limits (internal control limits), regardless of the UCL and LCL, which are defined as external. In the most control charts, control limits as well as the points on the chart concern not only individual measurements but also the mean values of the n -element process.

The Shewhart control chart is a graphical way of presenting information which is based on a sequence of a process. These charts allow to control the stability of the standard deviation of measured parameters. It takes place when the measurements are repeatable for the monitoring system.

The control chart method helps to determine if a process has actually reached a statistically controlled state. It is necessary to maintain control and high degree of uniformity of the measurement characteristics through information recording during operations.

The CP system of underground gas pipelines as the objects of investigation were chosen. The protective potential was obtained for objects as a monitoring parameter for a period of two quarters.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						128
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

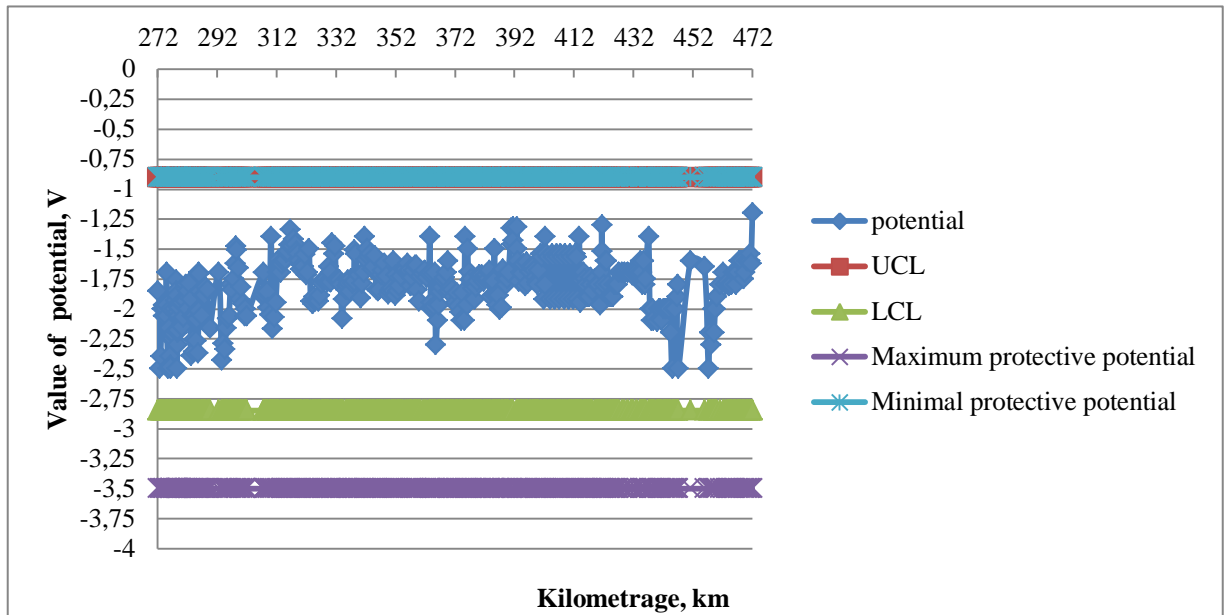


Fig. A.1. – Control chart of the CP station in the 2017 year.

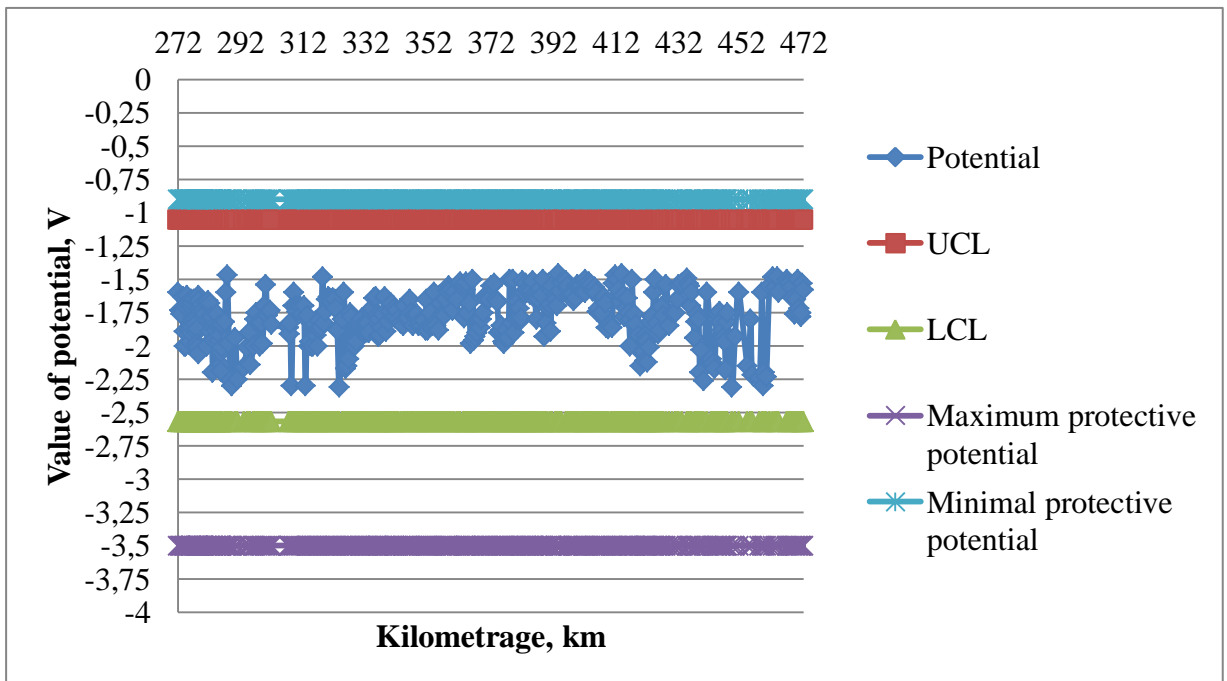


Fig. A.2. – Control chart of the CP station in the 2018 year.

The process electrochemical protection involves inhibition of corrosion on the surface of the pipeline. In this case the potential is shifted toward the negative side according to commonly applied CP criterion [50, 54].

Based on this, the polarization potential can be used as the main criterion of security in different environments in descriptions of the electrochemical protection of steel structures [50, 55].

In this study, the experimental data analysis of the work of CP stations was carried out by the Shewhart control charts construction on the base of protective

potential measurements at the beginning and the end of each month for two quarters (Fig. 1, Fig. 2). This chart shows no warning in view of the fact that action limits $\pm 3\sigma$ are not exceeding by protective potential, E , for the period of time, where N is the number of measurement. CP process is in statistically stable state and needs no corrections.

Further situation is the influence of stray currents on the CP process of gas pipeline section. These currents occur in the presence of electrified objects. The Fig. 3 shows monitoring of the CP station in case of stray currents occur. In this instance stray currents were caused by electric train for the short period of time. The main features of a statistically unstable state are the deviation from the action limits. It can be observed that exceeding by the protective potential line UCL, $\pm 3\sigma$ means deregulation of the CP stability (Fig. 3). It is more adverse situation then the exceeding LCL line in view of the fact that protective potential shifts toward the positive side. This case shows that the electric train timetable should be taken into account, and, if it is necessary, changes of CP protection should be provided.

Based on the data obtained, it was possible to get an idea of the possibility to use statistical control charts for the CP station operation. It gives an objective view of the capability and performance of the processes and the ability to meet requirements. The method is also suitable to indicate the statistical causes of the instability and thus directs the operation for process improvement.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						130
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

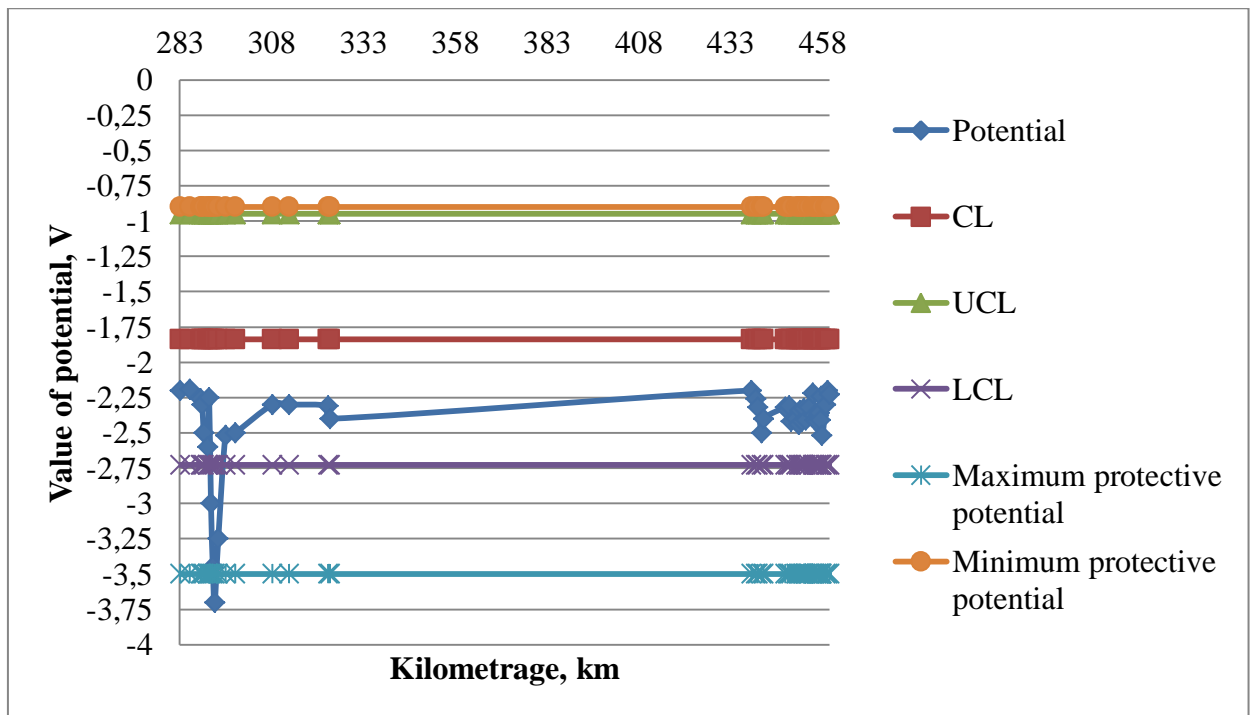


Fig. A.3. – Control chart of the CP station in the operation mode under influence of stray currents.

The results reveal that the work of the CP station was statistically stable. In the presence of stray currents, the CP process was not at statistically control state. Hence, it follows that the CP parameters should be corrected.

Thus, it is recommended that the statistical methods can be used for monitoring the operation of cathodic protection stations by protective potential with 3σ criterion.

A.2 Overview of methods for optimizing the operation of electrochemical protection

Existing methods for optimizing the mode of operation are directed to local objects. On industrial sites, the field of currents is non-uniform, in accordance with this, the methods are considered as a system of points in which the measurement of the protective potential is performed [56].

The ratio of the protective potential difference is at each point of the pipeline with the dependence on the value of the current strength working at a short distance from each other. The influence coefficients are determined by the method of regression analysis.

Studies were conducted on the production site, located in soils with a mixed type of soil. The system of linear equations describes the dependence of the change in the protective potential difference at the points of the current strength of the cathodic protection stations [57, 58]:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= A_{01} + A_{11}I_1 + A_{21}I_2 + \dots + A_{i1}I_n, \\ \varphi_2 &= A_{02} + A_{12}I_1 + A_{22}I_2 + \dots + A_{i2}I_n, \\ \varphi_k &= A_{0k} + A_{1j}I_1 + A_{2j}I_2 + \dots + A_{ij}I_n,\end{aligned}\tag{3.3}$$

where φ_i – the potential difference of the i^{th} point on the pipeline section, $i = 1; 2; \dots k$;

I_j – the current of the j^{th} cathodic protection station, $j = 1; 2; \dots n$;

A_{ij} – the coefficient of influence of the n^{th} cathodic protection station on the total potential difference at the measurement point.

The system of equations for the number of points (k) on the pipeline and n pieces of cathodic protection stations allows solving problems of current regulation of the cathodic protection installation with determining the optimal mode. In the known methods for optimizing the operating mode of the cathodic protection stations, it comes down to minimizing the output power [59].

When calculating the values of potentials, it is necessary to observe the limitations of the potential difference, the values of which are stated in the normative document [17]. The values of the current were taken from the operating stations of cathodic protection, located at 352 and 399 kilometers. Initially, it is necessary to determine the effect coefficients of the cathodic protection stations by the magnitude of the protective potential. This coefficient is numerically equal to the depolarization value and the pipeline's own potential in the event of a shutdown of all affecting stations. The influence coefficient depends on the environment of the pipeline and the metal material.

One of the cathodic protection stations was turned on for the experiment and the potential value was determined with an increase in current in increments of 1A (Figure 3.4).

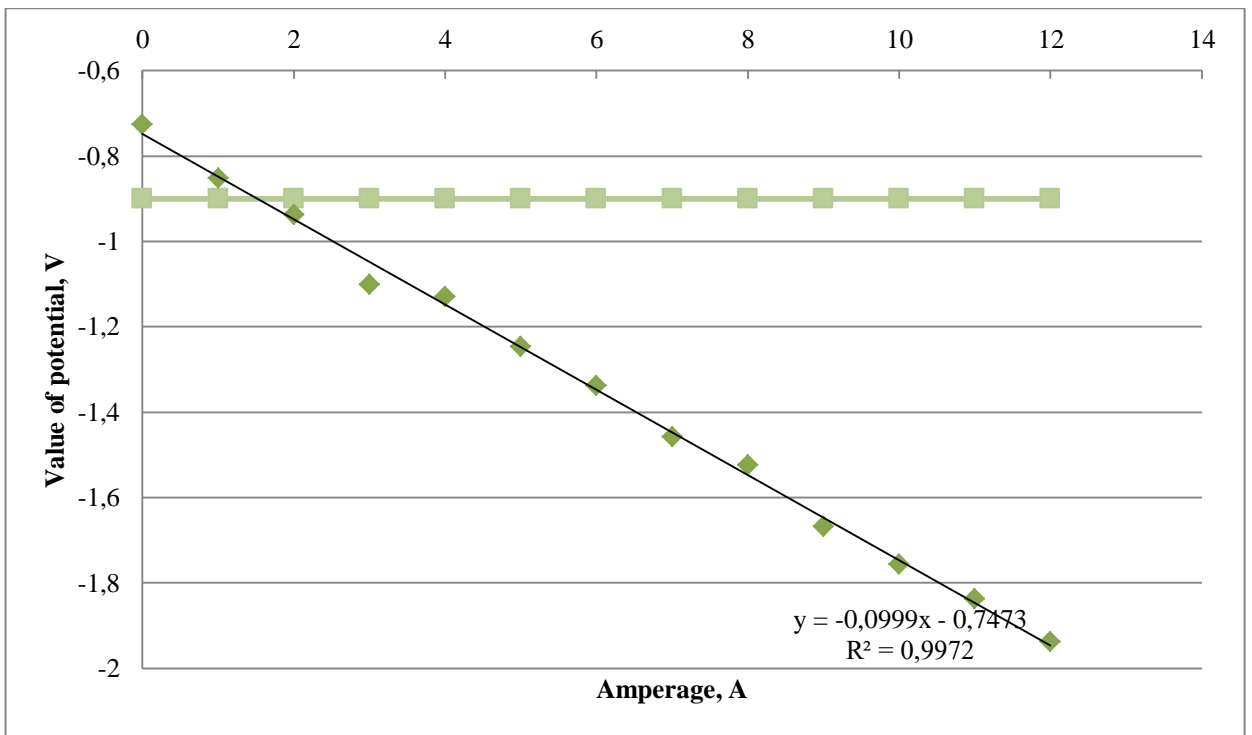


Fig. A.4 - Change of potential value with increasing current

The approximation in this case equals 0.9953 with the dependency:

$$\varphi_1 = -0,0999 \cdot I_1 - 0,7473. \quad (3.4)$$

The following values were found according to the measurements:

$$A_{01} = -0,7473 \text{ B}; A_{11} = -0,0999 \text{ B}.$$

Similarly, we calculate the coefficients for other RMS located between 352 and 399 kilometers.

Table 3.1

Values of potentials at four cathodic protection stations

CPS-2	A_{02}	A_{12}	φ_2
	-0,3597	-0,1128	-0,9237
CPS-3	A_{03}	A_{13}	φ_3
	-0,6813	-0,1006	-1,1843
CPS-4	A_{04}	A_{14}	φ_4
	-0,6372	-0,109	-1,1822
CPS-5	A_{05}	A_{15}	φ_5
	-0,5593	-0,1172	-1,1453

Then, set the value of the protective potential within the limits specified in [17], corresponding to each measurement point. Since the cathodic protection stations are operated for a long period of time, the potential with the ohmic component is used. For pipelines with polymer insulation, the protective potential is within (-0.9 V; -3.50 V).

According to the data obtained, a diagram of the influence of potentials on the joint operation of the CPS is compiled.

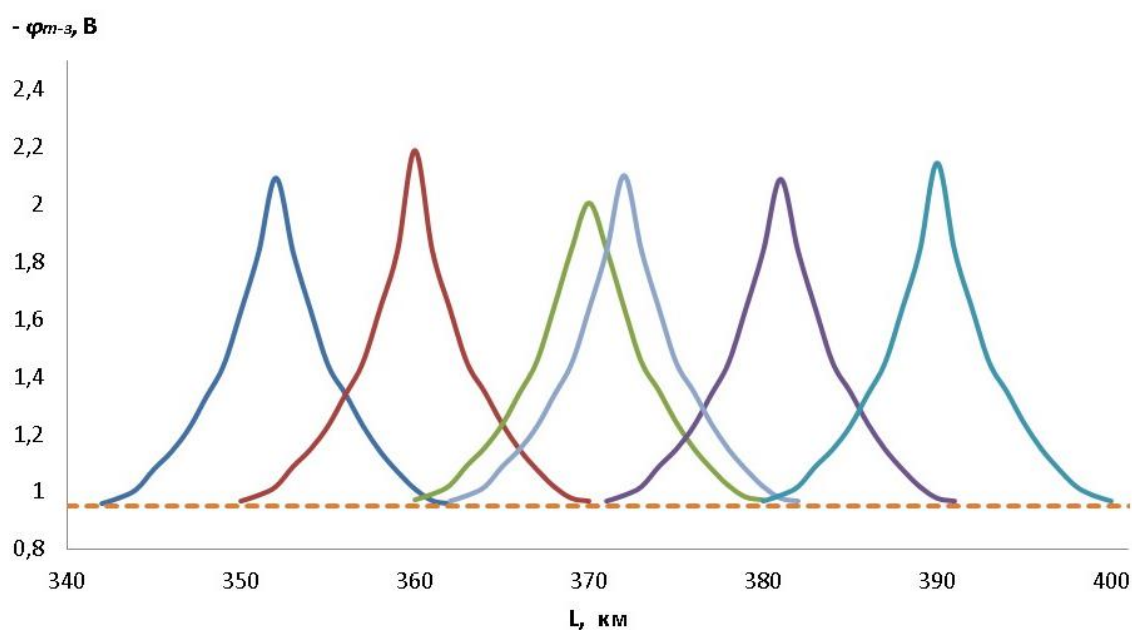


Fig. A.5 - Diagram of propagation of electrochemical protection on six CPS

Relying on the provided schedule, it can be judged that CPS at numbers 3 and 4 work with almost the same potential value, which indicates the possibility of disabling CPS-4 to avoid overlapping potential values and over-expenditure of electricity.

A.3 Model of potential distribution along the pipeline

In the existing pipeline facility, depolarization of the site for detecting stationary transport pipelines at the measurement point can occur within a few days, while the impact point will be at a sufficiently distant distance from the point under study. Therefore, it is necessary to disable a large number of VHCs for longer than this period, which is unacceptable.

To solve this problem, the pipeline's own potential, not the pipeline's potential, is used. This potential difference is called extraneous. This method consists in the fact that all possible potentials are "pipe earth", as the difference between total potential differences and a set of cathodic protection stations. It is assumed that the definition of all affecting the RMS and the absence of extraneous sources of exposure, it is calculated that the potential difference will be close to the stationary potential of the pipeline at the point of observation.

For verification, data were taken from the existing gas pipeline. The central station at 107 kilometers is chosen as the point of the investigated potential.

A3.1. Data processing

To determine the extrinsic potential difference, we determined the order of measurements with a sequential change in the current strength at the output of the RMS and the measurement of the total potential difference at the drain point. The nominal value of the current at 99 and 107 km is 3.5 and 0.7 A, respectively.

Measurements were carried out to accumulate statistics on changes in the total protective potential difference for different output parameters. The third-party potential difference includes the output parameters of adjacent stations. In accordance with this, the coefficients of the effect of adjacent RMS on the total protective potential difference were found.

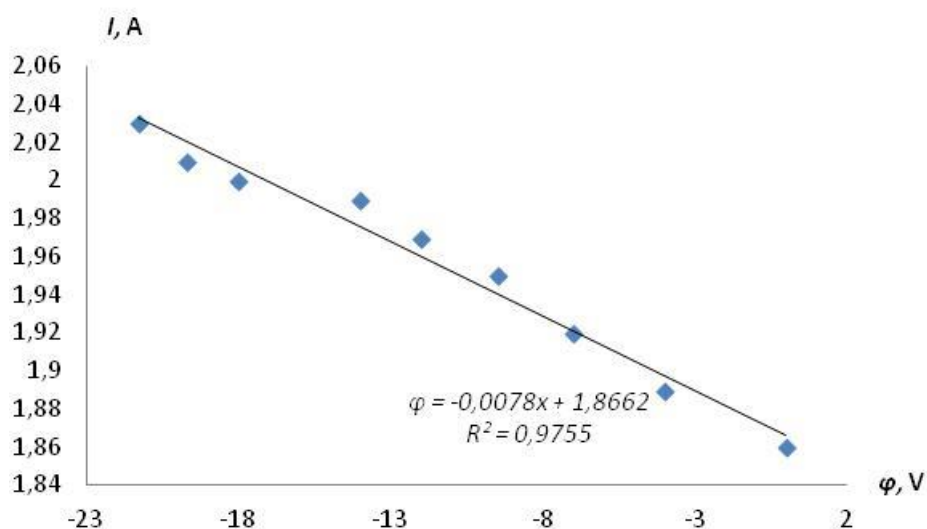


Fig. A.6 - Impact of cathodic protection stations on the total potential difference at

the point of drainage

Thanks to the regression analysis method, the coefficient of influence of the CPS data on the potential value at a point was restored. According to Figure 3.6, one can observe the approximation with a reliability of $R^2 = 0.9755$, which can be used to establish the relationship between potential and amperage:

$$\varphi = -0,0078 \cdot x + 1,8662, \quad (3.5)$$

where -0.0078 is the coefficient of influence of the cathodic protection station, located at 99 km on the total potential at 107 km.

Thus, the influence of the adjacent cathodic protection station (117 km) on the studied point was established.

Further, data were obtained on the effect of cathodic protection stations on the total potential difference at 107 km (Figure 3.7).

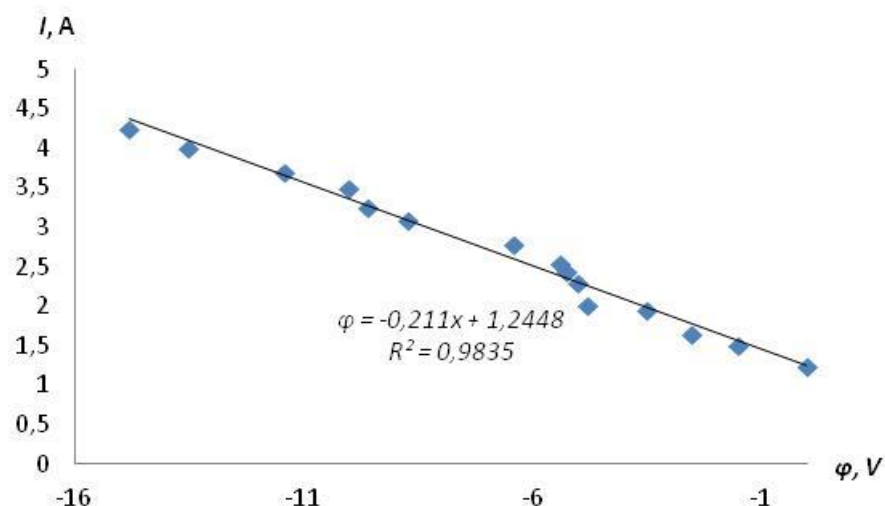


Fig. A.7 - Effect of a cathodic protection station at 107 km on the total potential difference at the studied point

For this approximation, $R^2 = 0.9835$, it was found that the relationship between potential and amperage is described by the equation:

$$\varphi = -0,211 \cdot x + 1,2448. \quad (3.6)$$

Therefore, the equation after all the coefficients of influence will be:

$$\varphi_1 = \varphi_{st} + A_{11} \cdot I_1 + A_{12} \cdot I_2 + \dots + A_{ij} \cdot I_n, \quad (3.7)$$

where φ_{st} is the stationary potential of the pipeline, V.

From equation (3.7) we express the stationary potential. Due to the fact that the influence of cathodic protection stations and current sources is not determined, the coefficient takes on the value of an external potential difference, which includes the potentials of unknown sources and the stationary potential.

$$\varphi_{stor} = \varphi_1 - A_{11} \cdot I_1 + A_{12} \cdot I_2 + \dots + A_{ij} \cdot I_n, \quad (3.8)$$

where φ_{stor} – the external potential difference of the pipeline, V;

φ_1 - protective total potential difference "pipe-ground";

I_n – the current strength at the output of the nth RMS.

The main feature of the introduced concept is its difference from the stationary potential. The stationary potential is used in all existing models of the distribution of protective potentials. Third-party potential includes the potential imposed by the protection stations and the depolarization potential of the pipeline:

$$\varphi_{stor} = \varphi_{cr} + \varphi_{деп} + A_{ij} \cdot I_n, \quad (3.9)$$

where $\varphi_{деп}$ is the pipeline depolarization potential, V.

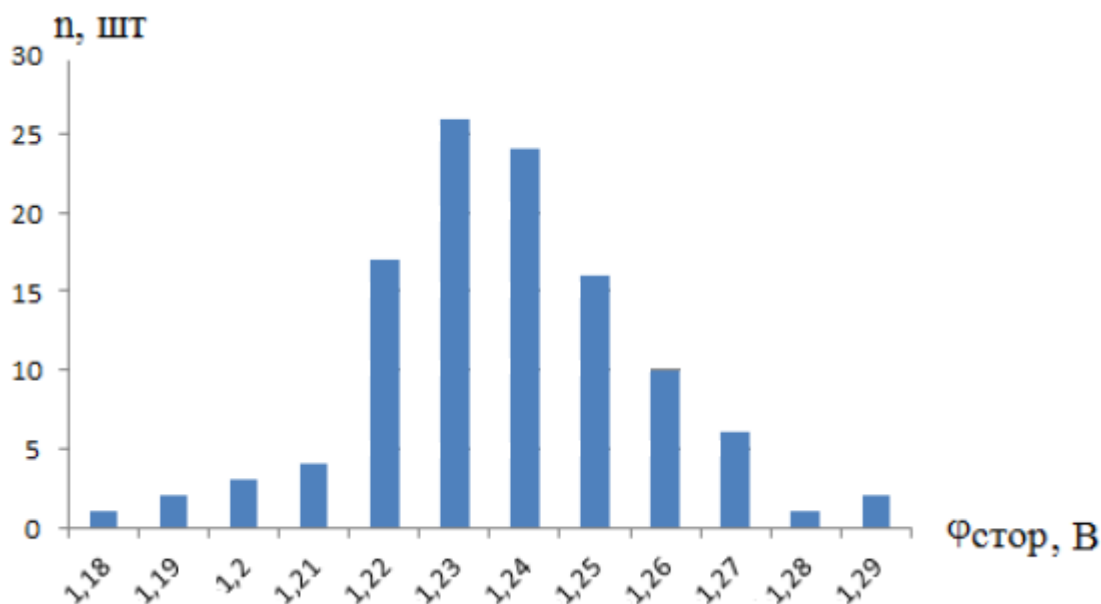


Fig. A.8 - The probability distribution of the values of the external potential difference at the point of drainage for 107 km of the pipeline

Then, at various values of the current strength of the cathodic protection stations and the total potential at the drainage point, we computed the external potential difference. Based on the data presented in [60], the total value of the adjacent cathodic protection stations is 0.048 V.

In addition, the calculation of the expectation and total influence of the cathodic protection stations was made, the values of which are 1.2307 and 0.048 V, respectively. The variance value of the external potential difference is 0.286.

After determining the value of the dispersion, we determine the standard deviation equal to 0.535.

In addition, we compared the obtained value of the external potential difference with the mode and median of this distribution, where the mode is 1.232 and the median is 1.2312.

By adding the previously calculated total effect of the remaining cathodic protection stations with the expectation and with the mode and median of the distribution of the values of the external potential difference, the following values were obtained: 1.2804; 1.28 and 1.2792 V, respectively. For the drainage point, the coefficient value will be equal to the stationary potential at the given point in total with the potential that is superimposed on the adjacent RMS. Based on this, this value can be taken as the value of the external potential difference. Consequently, the values of the external potential difference calculated by the methods of mathematical expectation, as well as by the mode and median of the obtained distribution, practically coincide with the value of the external potential difference calculated by the linear approximation method and equals 1.2805V, with multiple quantities and a wide measurement range.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						138
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		