

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 20.04.02. Природообустройство и водопользование
 Отделение геологии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

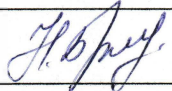
Тема работы
Оценка коррозионных свойств грунтов (на примере грунтов объектов НГК Тюменской области)

УДК 624.131.43-047.43:620.193(571.12)

Студент


Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ01	Михайлова Вероника Владимировна		30.05.2022

Руководитель ВКР


Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бракоренко Наталья Николаевна	К. Г.-М. Н., доцент		31.05.2022

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:


По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н., доцент		30.05.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н., доцент		30.05.2022

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженерные изыскания в строительстве	Савичев Олег Геннадьевич	Д. Г. Н., профессор		1.06.2022

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

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 20.04.02. Природообустройство и водопользование

Уровень образования магистратура

Отделение геологии

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

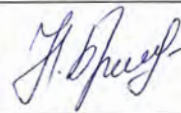
**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.03.2021	Литературный обзор по теме исследования	10
15.05.2021	Физико-географические и инженерно-геологические условия района исследования	10
15.09.2021	Сбор и анализ фактического материала	20
15.11.2011	Оценка коррозионных свойств грунтов. Анализ факторов, влияющих на изменение коррозионной активности грунтов.	30
15.01.2022	Рекомендации по инженерной защите территорий с высокой агрессивностью грунтов	20
15.03.2022	Социальная ответственность	5
15.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5


СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бракоренко Наталья Николаевна	К. Г.-М. Н.		15.01.2022


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Савичев О.Г.	Д.Г.Н.		15.01.2021

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

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование
Отделение геологии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
 25.03.2022 Савичев О.Г.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2ВМ01	Михайлова Вероника Владимировна

Тема работы:

Оценка коррозионных свойств грунтов (на примере грунтов объектов НГК Тюменской области)

Утверждена приказом директора (дата, номер) 25.03.2022 №84-18/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: 31.05.2022

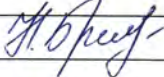
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Фактический материал АО «ТомскНИПИнефть», нормативные документы, опубликованная литература, данные экспериментальных работ автора</p>


<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1) Литературный обзор по теме исследования; 2) Физико-географические и инженерно-геологические условия района исследования; 3) Сбор и анализ фактического материала; 4) Оценка коррозионных свойств грунтов. Анализ факторов, влияющих на изменение коррозионной активности грунтов; 5) Рекомендации по инженерной защите территорий с высокой агрессивностью грунтов; 6) Социальная ответственность; 7) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович</p>
<p>Иностранный язык (английский)</p>	<p>Болсуновская Людмила Михайловна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Underground corrosion protection methods</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>25.03.2022</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бракоренко Н.Н.	К.Г.-М.Н.		25.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ01	Михайлова В. В.		25.03.2022

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ВМ01	Михайлова Вероника Владимировна

Школа	ИШПР	Отделение школы	Отделение геологии
Уровень образования	магистратура	Направление	20.04.02. Природообустройство и водопользование

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

<i>Оценка коррозионных свойств грунтов (на примере грунтов объектов НГК Тюменской области)</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:


1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. <i>Планирование и формирование бюджета разработки</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки</i>	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):


1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Диаграмма FAST
4. Матрица SWOT
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К. Э. Н., доцент		01.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ01	Михайлова Вероника Владимировна		01.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:


Группа		ФИО	
2ВМ01		Михайлова Вероника Владимировна	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Геологии
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	20.04.04 Природообустройство и водопользование

Тема ВКР:


<i>Оценка коррозионных свойств грунтов (на примере грунтов объектов НГК Тюменской области)</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования</i> – грунты месторождений Чупальское, Петелинское, Среднебалыкское, Восточно-Сургутское, Мамонтовское (ХМАО).</p> <p><i>Рабочая зона</i> – лаборатория исследования грунтов АО «ТомскНИПИнефть».</p> <p><i>Размеры помещения</i> – рабочие кабинеты площадью 18÷30 м²</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны</i> – оборудование для определения физико-механических и коррозионных свойств грунтов, ПК</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне</i> – пробоподготовка грунтов и проведение опытов для определения свойств грунтов, камеральная обработка полученных результатов</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</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 N 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022); • документы, регламентирующие трудовую деятельность и безопасность в АО «ТомскНИПИнефть»; • требования, предъявляемые к работнику организации; • характеристика условий труда (ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78); • условия организации безопасности рабочего пространства (СНиП 23-05-95, ГОСТ 12.1.003-2014, ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ, СанПиН 1.2.3685).
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов при проведении лабораторных и камеральных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отклонение показателей микроклимата в помещении; • недостаточная освещенность рабочей зоны; • повышенный уровень шума на рабочем месте; • повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

	<p>перенапряжение.</p> <p>2. Анализ выявленных опасных факторов при проведении лабораторных и камеральных работ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • электрический ток; • острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхности инструментов; • статическое электричество; • пожарная и взрывная опасность <p>Расчет: расчет воздухообмена для очистки воздуха в общественных помещениях</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<p>Воздействие на литосферу: отходы и утилизация грунтов</p> <p>Воздействие на гидросферу: сбросы сточных вод, содержащих остатки грунтов</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы Пыли</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС пожар</p> <p>Наиболее типичная ЧС пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н., доцент		03.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ВМ01	Михайлова Вероника Владимировна		03.02.2022

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 187 с., 40 рис., 48 табл., 154 источников, 1 прил.

Ключевые слова: агрессивность грунтов; подземная коррозия; физические свойства грунтов; анализ факторов изменения удельного электрического сопротивления; биокоррозия.

Объектом исследования являются грунты месторождений Чупальское, Петелинское, Среднебалыкское, Восточно-Сургутское, Мамонтовское (ХМАО).

Цель работы – оценка коррозионных свойств грунтов оснований объектов нефтегазового комплекса.

Проведен анализ и обобщение литературных сведений и фактического инженерно-геологического материала ранее проведенных исследований, работа дополнена экспериментом по биокоррозии грунтов.

Выявлена зависимость удельного электрического сопротивления грунтов исследуемых территорий от их физических свойств и влияние микроорганизмов на коррозию стальных сооружений, помещенных в грунт. А также предложены инженерные решения по снижению коррозионной агрессивности среды грунтов.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

NBS – Национального бюро стандартов;

АКАГ – анализатор коррозионной активности грунта;

АО – акционерное общество;

ВСН – Ведомственные строительные нормы;

ГОСТ – государственный стандарт;

ИШПР – Инженерная школа природных ресурсов;

КАГ – коррозионная агрессивность грунтов;

МПУ – муниципальное унитарное предприятие;

НГК – нефтегазовый комплекс;

НДС – налог на добавочную стоимость;

НИ ТПУ – Национальный исследовательский Томский

ОГ – Отделение геологии;

ПК – персональный компьютер;

политехнический университет;

ПУЭ – правила устройства электроустановок

СанПиН – санитарно-эпидемиологические правила и нормы;

СВБ – сульфатовосстанавливающие бактерии;

СП – Свод правил;

УЭС – удельного электрического сопротивления;

ХМАО – Ханты-Мансийский автономный округ;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

Оглавление

Введение.....	12
1 Современное состояние проблемы оценки коррозионной активности грунтов.....	14
2 Методика проведения работ	17
3 Физико-географические и инженерно-геологические условия месторождений	23
3.1 МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЧУПАЛЬСКОЕ.....	23
3.2 ВОСТОЧНО-СУРГУТСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ	27
3.3 СРЕДНЕБАЛЫКСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ	31
3.4 МАМОНТОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ.....	35
3.5 ПЕТЕЛИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ	38
4 Агрессивность грунтов и коррозионные процессы.....	44
4.1 ПОДЗЕМНАЯ КОРРОЗИЯ.....	44
4.2 МЕХАНИЗМЫ ПОДЗЕМНОЙ КОРРОЗИИ	46
4.3 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОЧВЕННУЮ КОРРОЗИЮ	52
4.4 КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	63
4.5 БИОКОРРОЗИЯ	74
4.5.1 Бактериальная коррозия.....	75
4.5.2. Грибная (микологическая) коррозия	77
5 Оценка коррозионных свойств грунтов.....	79
6 Инженерные решения для снижения агрессивности грунтов	88
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 91	
7.1 ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ	92
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	92
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	93
7.1.3 Swot-анализ	95
7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	99
7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	101
7.2 ИНИЦИАЦИЯ ПРОЕКТА.....	101
7.2.1 Цели и результат проекта	102
7.2.2 Организационная структура проекта	103
7.2.3 Ограничения и допущения проекта	104

7.3 ПЛАНИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОЕКТОМ	104
7.3.1 План проекта	104
7.3.2 Контрольные события проекта	105
7.3.3 Бюджет научного исследования	107
7.4 ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРОЕКТА	113
7.4.1 План управления коммуникациями проекта	114
7.4.2 Реестр рисков проекта	115
7.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ, ФИНАНСОВОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	116
7.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	116
7.2 ОЦЕНКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	122
8 Социальная ответственность	126
8.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	127
8.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	129
8.3 АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ И ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАБОРАТОРНЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ РАБОТ ...	130
8.3.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении	130
8.3.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	133
8.3.3 Превышение уровней шума на рабочем месте	135
8.3.4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	136
8.3.5. Понотонность труда и умственное перенапряжение	138
8.4 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ И ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАБОРАТОРНЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ РАБОТ ...	140
8.4.1 Электрический ток	140
8.4.2 Статическое электричество	142
8.4.3 Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхности инструментов	143
8.5 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	144
8.5.1 Охрана атмосферы	145
8.5.2 Охрана гидросферы	146
8.5.3 Охрана литосферы	146
8.6 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	147
Заключение	152
Список литературы	153
Приложение А	164

Введение

В современном мире геологическая среда активно эксплуатируется под нужды человека. Так все больше территорий содержат под землей объекты инфраструктуры и нефтегазовые комплексы (НГК). В то же время почвогрунт является агрессивной средой и помещенные в нее металлические изделия подвергаются разрушению вследствие коррозии.

Под коррозией подразумевают самопроизвольный процесс, взаимодействия металла со средой. В результате ухудшаются физико-механические характеристики металла. Вследствие подземной коррозии ежегодно выходят из строя 2-3 % металлических сооружений, что приводит к значительным экономическим убыткам и наносится вред окружающей среде.

В связи с этим необходимо более детально изучать процессы подземной коррозии и основополагающие закономерности протекания коррозионных процессов в зависимости от свойств агрессивной среды (грунта).

Исходные данные к работе. В основу магистерской диссертации положены результаты лабораторных исследований физических и коррозионных свойств грунтов, отобранных с территории месторождений Тюменской области: Чупальское, Петелинское, Среднебалыкское, Восточно-Сургутское и Мамонтовское. Отбор проб проводился полевыми геологами АО «ТомскНИПИнефть». Лабораторные исследования проводились сотрудниками Лабораторией исследований грунтов АО «ТомскНИПИнефть» при непосредственном участии автора. Всего было исследовано 82 пробы грунтов с глубины 1,0-2,5 м.

Целью работы является оценка коррозионных свойств грунтов оснований объектов нефтегазового комплекса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Изучить природные и инженерно-геологические условия района исследований;
2. Изучить методы определения и провести испытания по определению коррозионной активности грунтов;

3. Оценить факторы, влияющие на коррозионные свойства грунтов;
4. Выбрать комплекс мероприятий по снижению коррозионной активности грунтов для исследуемого района.

Объектом исследования являются грунты месторождений Чупальское, Петелинское, Среднебалыкское, Восточно-Сургутское, Мамонтовское (ХМАО).

Предмет исследования – коррозионные свойства грунтов.

В результате исследования дана коррозионная оценка грунтов месторождений к низколегированной и углеродистой стали. Выделены основные факторы, влияющие на изменение удельного электрического сопротивления (УЭС), а также определена роль микробиологических групп в процессах коррозии. Полученная информация способствует выбору правильной антикоррозионной защите и своевременному устранению аварий на объектах НГК.

Научная новизна. Для территорий месторождений Чупальское, Петелинское, Среднебалыкское, Восточно-Сургутское, Мамонтовское (ХМАО) выявлены зависимости удельного электрического сопротивления грунтов от их состава и физических свойств. Определена микробиологическая коррозия в грунтах месторождений ХМАО.

1 Современное состояние проблемы оценки коррозионной активности грунтов

Изучение процессов коррозии металлов, выявление их причин и способов защиты от их влияния издавна интересовали людей. Ранее множество теорий пытались объяснить механизм корродирования различных видов металлов, среди них: кислотная, пероксидная, коллоидная и другие [1-6]. В современной науке коррозии металлов по механизму протекания выделяют химическую и электрохимическую виды коррозии [7-9]. Коррозия в почвогрунтах относится к электрохимической коррозии.

Изучение данного механизма было положено работами М.В. Ломоносова, который открыл в 1748 году закон сохранения массы, по которому протекают все коррозионные процессы. В 1773 году французский химик Лавурье установил, что окисление металлов и есть соединение его с кислородом. В дальнейшем работы ученых Холла (1819) и Деви (1924) показали, что в отсутствие воздуха железо и медь не корродируют. Важную роль для обоснования электрохимического механизма коррозии показали в своих работах английский ученый М. Фарадей, который описал законы электролиза, швейцарский химик А. Де ла Рив, объяснивший разложение цинка в кислоте действием микророгоальванических элементов.

Необходимо также отметить работы таких ученых как С. Аррениус, который в 1887 году предположил теорию электролитической диссоциации, и немецкого физико-химика В. Нериста, который сформировал теорию электродных и диффузных потенциалов. Вышеупомянутые работы ученых по изучению электрохимических механизмов коррозии привели к формированию самостоятельного раздела науки коррозии металлов.

В Советском союзе данную науку связывают с такими учеными как: В.А. Кистяковский, Н.А. Изгарышев, Ю.Р. Эванс, Г.В. Акимов, А. Н. Фрумкин, Г.Г. Улига, И.Д. Томашов и многие другие. В зарубежных странах важное значение имели работы американского ученого Р.И. Кун, который внес значительный вклад в теорию катодной защиты от подземной коррозии стальных

сооружений, немецкого ученого Р. Тоут, который описал кинетику процессов общей электролитической и почвенной коррозии стали, а также К. Шлюмберге и американца Д.М. Пирсона, разработавшего методические основы электрических измерений по контролю различных параметров, характеризующих опасность подземной коррозии и другие. Достоверность ранее предположений, сделанных другими учеными в области изучения подземной коррозии, впервые научно подтвердили М. Ромаков и К. Логан.

Коррозия почв изучается во всем мире на протяжении многих лет. На сегодняшний день наиболее обширное и всестороннее исследование было проведено Romanoff для Национального бюро стандартов (NBS) в Соединенных Штатах в 1950-х и 1960-х годах. Эта работа была опубликована в виде серии циркуляров и презентаций NBS [10,11], охватывающих результаты по более 37 000 различным образцам, содержащим множество металлов, сплавов и 95 различных грунтов, исследуемых в течение 17 лет. Эта работа по-прежнему актуальна сегодня в качестве эталона для описания характеристик различных металлов и сплавов, подверженных воздействию широкого диапазона грунтов.

Показатели коррозионных свойств грунтов были определены еще в 50-е годы двадцатого столетия в строительных нормативных документах СССР и используются в настоящее время практически без изменения. Поэтому актуальным остается вопрос актуализации КАГ и факторов влияния на повышения скорости коррозии.

Сейчас исследователи данной проблематике связывают процессы коррозии непосредственно с физико-химическими свойствами грунтов, а также ряд авторов, связывают коррозионную агрессивность (КАГ) грунтов с зональными особенностями территории, прежде всего климатом [12].

Все больше авторов, предлагают оценивать агрессивность грунта комплексно учитывая, различные факторы, и формируя балльную оценку [13,14].

В настоящее время наука о коррозии металлов также активно изучается на основе практического опыта и знания теоретических основ, применяются новые и эффективные методы защиты металлов, которые позволяют

сохранить долговечность металлических сооружений, помещенных в почвогрунт [15-19]. При этом, при изучении свойств агрессивной среды, также учитывается участие микроорганизмов в коррозионных процессах – биокоррозия [20-22].

2 Методика проведения работ

Для изучения зависимости удельного электрического сопротивления от физических характеристик собран и обобщен фактический материал, включающий определение УЭС и физических характеристик грунта по 5 месторождениям: Чупальское, Восточно-Сургутское, Петелинское, Среднебалыкское и Мамонтовское. Всего проанализировано 82 пробы: 15 частных значений по составу и физическим свойствам для глин, 57 частных значений по составу и физическим свойствам для суглинков, 10 - для супесей. Кроме того, лично автором выполнен ряд анализов, проведенными с установленными ГОСТом методиками.

Физические свойства грунтов определяли согласно [23] (влажность w , плотность ρ , плотность частиц ρ_s , влажность на границе текучести w_l и раскатывания w_p), гранулометрический состав ареометрическим методом, а также содержание органических веществ. В таблице 2.1 представлен список исследованных характеристик грунтов и соответствующие нормативные документы, содержащие методики проведения анализа.

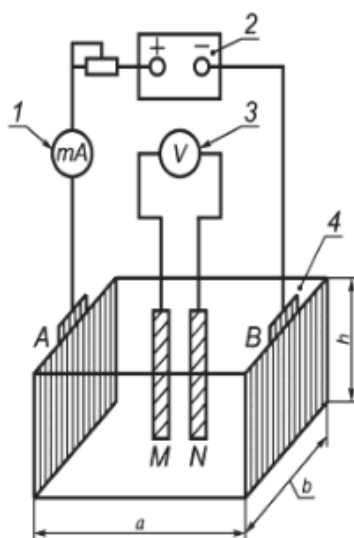
Таблица 2.1 – Основные виды лабораторных исследований, методы их осуществления и соответствующие нормативные документы

№	Вид анализа	Метод	Нормативный Документ
1.	Определение природной влажности	Метод высушивания до постоянной массы.	ГОСТ 5180-2015
2.	Определение влажности на границе Текучести	Пенетрация балансирным конусом А.М. Васильева	ГОСТ 5180-2015
3.	Определение влажности на границераскатывания	Раскатыванием в жгут с использованием установки поопределению пластичности на границе раскатывания LZ2200.	ГОСТ 5180-2015
4.	Определение плотности грунта	Метод режущего кольца	ГОСТ 5180-2015
5.	Определение плотности частиц грунта	Пикнометрический метод	ГОСТ 5180-2015
6.	Определение гранулометрического состава грунта	Ареометрический метод	ГОСТ 12536-2014
7.	Определение относительного содержания органического вещества	Прокаливанием в муфельной печи при 525 ± 25 °С.	ГОСТ 23740-2016

Отбор проб производился согласно ГОСТ 12071-2014 [24]

Для оценки коррозионных свойств грунтов определяли параметр УЭС, который является количественной и качественной оценкой коррозионной агрессивности грунта по отношению к стали в местах укладки подземных сооружений [25].

Для определения удельного сопротивления в лабораторных условиях пользовались прибором анализатор коррозионной активности грунта (АКАГ) (рисунок 2.1).



1 – миллиамперметр; 2 – источник тока; 3 – вольтметр; 4 – измерительная ячейка размерами a, b, h; А и В – внешние электроды; М и N – внутренние электроды

Рисунок 2.1 – Схема установки для определения удельного электрического сопротивления грунта в лабораторных условиях

Для определения удельного электрического сопротивления грунта были отобраны пробы грунтов в шурфах, скважинах и траншеях из слоев, расположенных на глубине прокладки сооружения, с интервалами от 50 до 200 м на расстоянии от 0,5 до 0,7 м от боковой стенки трубы. Для пробы берут от 1,5 до 2 кг грунта, удаляют твердые включения размером более 3 мм. Отобранную пробу помещали в полиэтиленовый пакет и снабжали паспортом, в котором указывают номера объекта и пробы, место и глубину отбора пробы.

Подготовка и измерение удельного электрического сопротивления грунта в лабораторных условиях проводили согласно методике [24]

Помимо этого, были поставлены задачи оценки биологической коррозии грунта отобранного с глубины 1,0-2,0 м, на территории Мамонтовского месторождения.

Для начала в отобранной пробе определяли количественное содержание бактерий следующих микробиологических групп: сапрофитов, олиготрофов, нефтеокисляющих, гетеротрофных железокисляющих бактерий, автотрофных тионовых, денитрифицирующих, нитрифицирующих и сульфатовосстанавливающих.

При исследовании микробиологических групп использовали классические методики, которые базируются на применении селективных сред [26-29].

Из грунта готовили водную вытяжку: 10 грамм на 90 мл воды. Исследуемую вытяжку высевали в пробирки на жидкую среды, а также на твердую – в чашки Петри. На чашках подсчитывали количество выросших колоний. Посев в пробирки осуществляли методом предельных разведений (рисунок 1). О количестве бактерий судили по визуальным изменениям среды, свойственным каждой физиологической группе бактерий. Интенсивность роста оценивали в баллах. При количественной оценке роста в пробирках пользовались таблицами Мак-Креди, составленными на основе статистических методов [26].

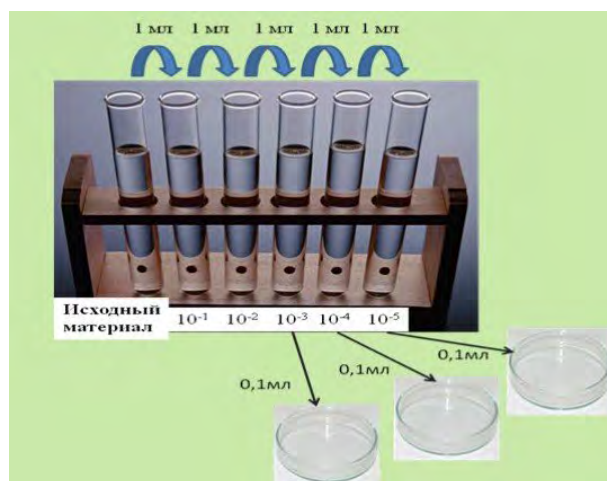


Рисунок 2.2 – Схема метода предельных разведений для определения микробиологического состава

Сапрофиты и ологотрофы выращивали на мясо-пептонном агаре при температуре 20–22 °С. Подсчет выросших колоний осуществляли спустя 7 и 14 суток после посева.

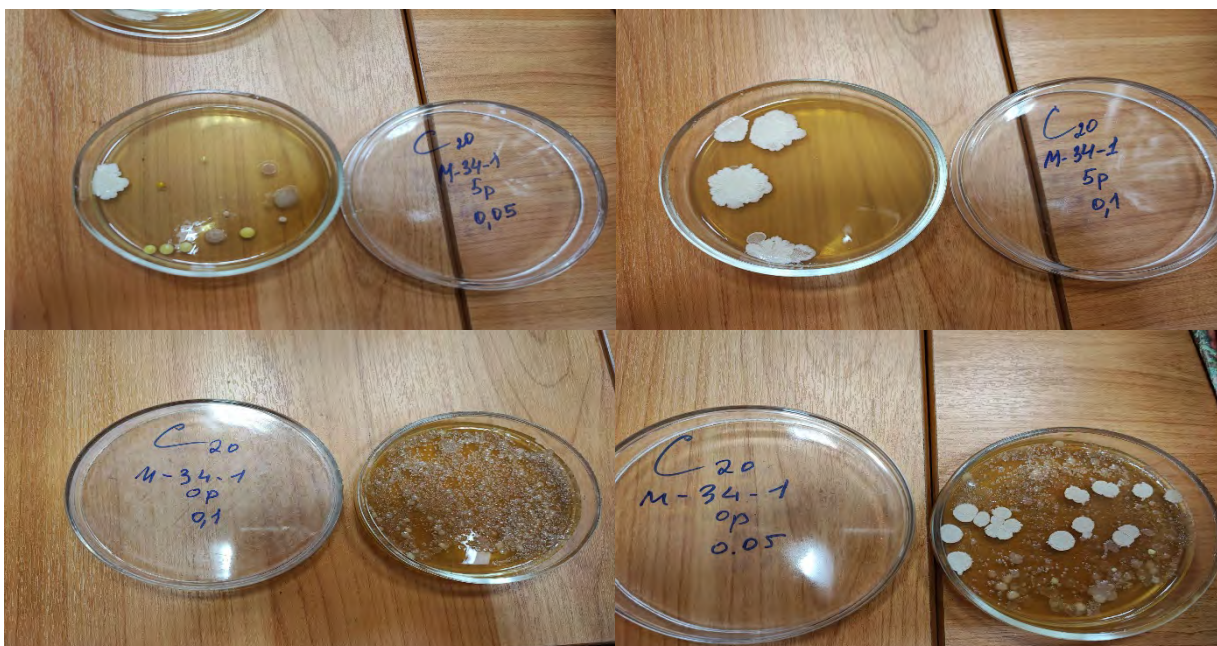


Рисунок 2.3 – Фото образцов, по которым рассчитывалось количество олиготрофов и сапрофитов спустя 14 дней (в нулевом и пятом разведении)

Нефтеокисляющие бактерии, использующие в процессах метаболизма нефть и ее дериваты, выявляли на агаризованной среде Мюнца с нефтью в качестве единственного источника углерода и энергии. Посевы культивировали при температуре 20– 22 °С в течение двух недель.

Нитрифицирующие микроорганизмы выявляли на среде Виноградского методом предельных разведений. Сигналом наличия в среде искомой группы бактерий было появление нитритов и нитратов. Посевы инкубировали в течение четырех недель при температуре 22 °С. Денитрифицирующие бактерии выявляли на среде Гильтая методом предельных разведений. Инкубировали при 22 °С в течение двух недель. Признаком наличия в среде бактерий служило изменение величины рН, цвета культуральной жидкости, появление в среде азота или аммиака, что фиксировалось по запаху и появлению пены.

Сульфатредуцирующие бактерии культивировали на среде Постгейта с лактатом кальция в качестве источника органического вещества. Посев осуществляли способом предельных разведений. Об интенсивности процесса редукции сульфатов судили по появлению в среде черного осадка сульфида железа, образующегося в результате реакции сероводорода (микробной редукции сульфатов) и находящегося в среде железа.



Рисунок 2.4 – Рост сульфатвосстанавливающих бактерий с образованием осадка сульфата железа

В связи с тем, что процессы коррозии традиционно связывают с жизнедеятельностью СВБ, изучали коррозионную активность этих бактерий. Коррозия может возникать при незначительном содержании бактерий в среде, но при их высокой активности [29].

Для оценки влияния СВБ на коррозию стали проводили эксперимент, в котором стальные пластинки помещали в грунт. В первом случае стальную пластинку помещали в контрольный образец с естественными условиями, во втором – в этот же грунт с добавлением культуры СВБ (каждая в двух повторностях).



Рисунок 2.5 – Стальная пластинка в грунте для определения биокоррозии (эксперимент автора)

По истечении 7 дней произвели подсчет СВБ и оценку влияния их на стальную пластинку. Оценку произвели визуально и по потере массы пластинки. Для определения потери масс образца их поверхности очищали, промывали водой и обезжировали затем образцы высушивали и взвешивали.

Проверялся сценарий попадания нефти в грунт и оценивалось влияние нефтепродукта на рост СВБ и нефтеокисляющие бактерии. В контрольные образцы снова закладывали пластинки, и добавляли 20 мл нефти. В дальнейшем также оценивали количественное значение СВБ и изменения, связанные с пластинкой.



Рисунок 2.6 – Стальная пластинка в грунте, пропитанном нефтью (моделирование ситуации аварийного разлива нефти в грунте и ее влияния на деятельность микроорганизмов).

3 Физико-географические и инженерно-геологические условия месторождений

Рассматриваемые месторождения в административном плане относятся к Хант-Мансийскому автономному округу Тюменской области.

Согласно ландшафтному районированию Западной Сибири, районы исследования находится на территории лесоболотной зоны Среднеобской провинции в подзоне средней тайги [30-34].

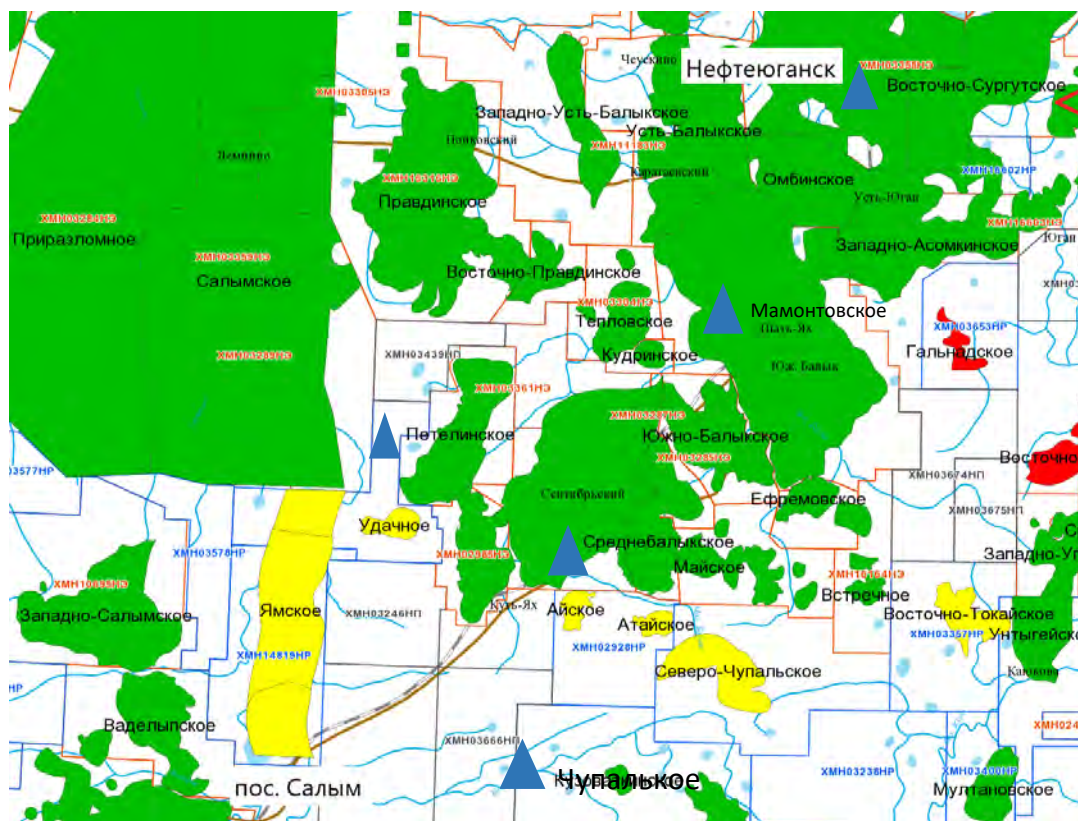


Рисунок 3.1 – Обзорная схема расположения месторождений

▲ – Район исследования

3.1 Месторождение Чупальское

В административном отношении месторождение Чупальское расположено на территории муниципального образования сельского поселения Куть-Ях, Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области в Нефтеюганском районе, в 130 км от г. Сургут по прямой к северо-востоку от района исследований [30].

С географической точки зрения район месторождения находится в пределах Среднеобской низменности Западно-Сибирской равнины в левобережной части бассейна р. Обь. Район изысканий расположен в бассейне р. Малый Балык.

В геоморфологическом отношении территория месторождения расположена на четвертой надпойменной террасе р. Обь, в левобережной части бассейна р. Малый Балык [30].

Поверхность территории представляет собой озерно-аллювиальную равнину со значительным количеством озер и болот.

Рельеф изучаемого месторождения пологий, пологоволнистый. Углы наклона поверхности составляют 0-2°, 6-8°. Абсолютные отметки местности изменяются в пределах от 75,65 до 82,7 [30].

Большое количество осадков, равнинность рельефа, затрудненный сток, глинистый состав пород способствует значительному заболачиванию территории. Заболоченность территории составляет более 50 % [30].

Климат района резко континентальный с суровой и продолжительной зимой с устойчивым снежным покровом, теплым и коротким летом, ранними осенними, поздними весенними заморозками, быстрой сменой погодных условий даже в течение суток. Самый продолжительный климатический сезон в районе – зима [30].

Многолетняя среднегодовая температура воздуха на рассматриваемой территории равна минус 1,4 °С. Самый холодный месяц январь, самый теплый – июль, средние температуры их составляют соответственно минус 21 °С и плюс 17,4 °С. Абсолютная минимальная температура воздуха достигает минус 54,5 °С, а абсолютный максимум плюс 36 °С.

Годовая сумма осадков составляет 596 мм. Среднегодовое значение скорости ветра – 2,4 °С [36].

К опасным природным процессам на данной территории относятся заболачивание и морозное пучение [30].

Болота по проходимости строительной техники, согласно СП 86.1330.2014 [41] представлены болотами 1 типа - проходимыми. Болота сложены торфами бурого цвета среднеразложившимися, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26-90 [42], относятся к 1 типу А.

Морозное пучение. Нормативная глубина сезонного промерзания минеральных грунтов определена в соответствии с п. 5.5.3 СП 22.13330.2016[43], составляет для суглинков и глин 2,1 м, для супеси – 2,60 м (по данным метеостанции Угут). По относительной деформации морозного пучения грунты, находящиеся в слое сезонного промерзания, обладают следующими свойствами: супесь твердая – к слабопучинистым грунтам, глина и суглинок-мягкопластичные – сильнопучинистыми, торф является непучинистым грунтом [38]. Согласно СП 115.13330.2016 по степени опасности морозного пучения, территория относится к «опасным».

Подтопление. Согласно п. 5.4.8 СП 22.13330.2016 по характеру подтопления территория относится к естественно подтопленным территориям. Согласно СП '15.13330.2016 по степени опасности подтопления территория относится к «опасным».

В геологическом отношении территория месторождения расположена на четвертой надпойменной террасе р. Обь, в левобережной части бассейна р. Малый Балык (рисунок 3) [30].



Рисунок 3.2 – Схематическая геологическая карта района работ [37]

□ – участок работ

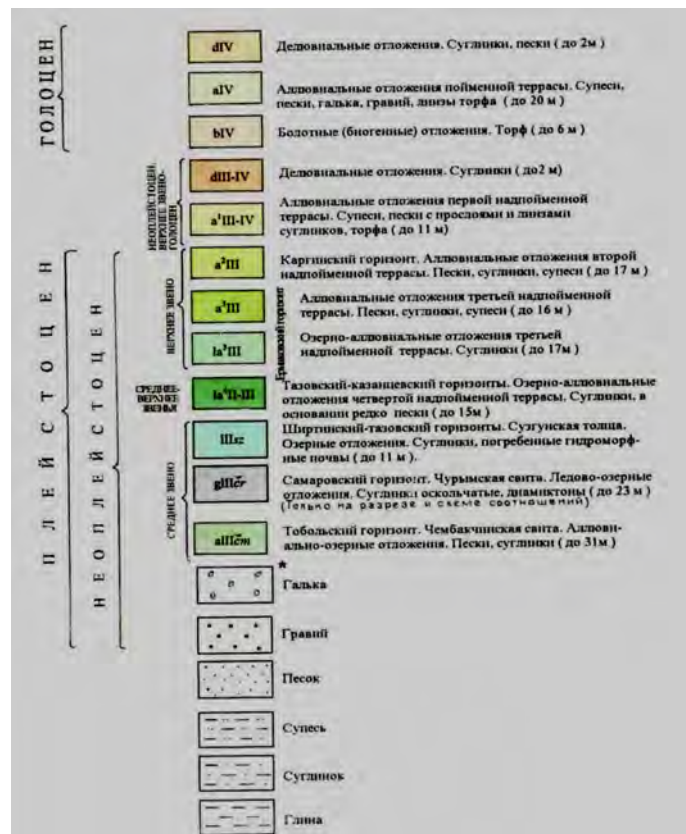


Рисунок 3.3 – Условные обозначения к схематической геологической карте района работ

До глубины 5,0-20,0 м принимают участие [30]:

- (t) – современные техногенные отложения, представленные супесью.
- (bQ_{IV}) – современные болотные отложения, представленные торфами верхового типа бурого цвета, сильноразложившимися, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26-90, относятся к 1 типу А-торфа маловлажные. Мощность болотных отложений достигает 3 м.

– (IaQ_{II-III}) – верхне-среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения четвертой надпойменной террасы р. Обь, представленные глиной тугопластичной и мягкопластичной консистенции, суглинками тугопластичной, мягкопластичной и текучепластичной консистенции.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием подземных вод следующих типов: болотных и вод верховодки.

Болотные воды приурочены к торфяным отложениям, уровень их установления фиксируется у дневной поверхности.

Воды верховодки приурочены к глинам мягкопластичным, уровень их установления фиксируется на глубине 1,3-2,1 м, и суглинками мягкопластичными с уровнем установления на глубине 2,4-2,7 м [30].

По типам режима подземные воды относятся к междуречному типу. Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, речных, озерных и талых вод. Разгрузка подземных вод происходит в поверхностные водотоки и водоемы.

Режим подземных вод определяется климатическими факторами. Максимальное стояние подземных вод приходится на период массового снеготаяния и полного оттаивания грунтов. В паводковый период на участках развития болот уровни вод выходят на поверхность и имеют сток в пониженные участки рельефа.

Химический состав подземных вод гидрокарбонатный кальциевый магниевый.

Для исследуемого участка характерно распространение специфических грунтов таких как – техногенные и органические.

Время образования толщи техногенных грунтов – более 5 лет.

Органические грунты представлены торфами, которые согласно ВНС 26-90 относятся к 1 типу А. Вскрытые торфяные отложения относятся к сильносжимаемым грунтам. Тип торфа верховой

3.2 Восточно-Сургутское месторождение

Восточно-Сургутское месторождение административном отношении расположен в южной части Восточно-Сургутского нефтяного месторождения в Ханты-Мансийском автономном округе Тюменской Области Российской Федерации. Участок находится в Сургутском районе на землях запаса и землях лесного фонда (юганское лесничество, Локосовское участковое лесничество). Восточно-Сургутское месторождение было открыто в 1977 году [31].

С географической точки зрения Восточно-Сургутское месторождение находится в Западной Сибири. Рассматриваемый район расположен в

пределах Среднеобской низменности Западно-Сибирской равнины, на левобережье Оби в ее среднем течении.

В геоморфологическом отношении проектируемый участок работ расположен на поверхности поймы р. Обь.

В геологическом строении территории принимают участие верхнечетвертичные аллювиальные отложения поймы Оби, представленные глинами, суглинками, супесями и песками.

Рельеф участка равнинный, пологоволнистый. Абсолютные отметки местности в районе изысканий изменяются в пределах от 29,32 до 35,67 м [31].

Уклон местности определяет медленное течение рек и большой коэффициент извилистости достигающий 3-4.

Климат района относится к резко континентальному, характеризуется суровой и продолжительной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким летом, ранними осенними, поздними весенними заморозками, быстрой сменой погодных условий. Самый продолжительный климатический сезон в районе - зима [35].

Многолетняя среднегодовая температура воздуха на рассматриваемой территории равна минус 3,1 °С. Самый холодный месяц - январь, самый теплый - июль, средние температуры их составляют соответственно минус 22 °С и плюс 16,9 °С. Абсолютная минимальная температура воздуха достигает минус 55 °С, а абсолютный максимум плюс 34 °С.

Годовая сумма осадков составляет 676 мм. Среднегодовое значение скорости ветра - 4,9 м/с.

К опасным природным процессам относятся заболачивание, морозное пучение и подтопление территории.

Заболачивание территории и развитие торфов. Современные болотные отложения представлены торфами среднеразложившимися очень влажными, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26-90, относятся к 2 типу. Торф низинного типа.

Морозное пучение. Нормативная глубина сезонного промерзания минеральных грунтов определена в соответствии с п. 5.5.3 СП 22.13330.2016 [42], составляет для суглинков и глин 2,2 м (по данным метеостанции Сургут).

По относительной деформации морозного пучения грунты, находящиеся в слое сезонного промерзания, относятся к сильнопучинистым и чрезмернопучинистым. Торф является непучинистым грунтом [37]. Согласно СП 115.13330.2016 [38] по степени опасности морозного пучения, территория относится к «весьма опасным».

Подтопление. Согласно п. 5.4.8 СП 22.13330.2016 по характеру подтопления территория относится к естественно подтопленным территориям. Согласно СП '15.13330.2016 по степени опасности подтопления территория относится к «весьма опасным».

В геологическом строении территории принимают участие верхнечетвертичные аллювиальные отложения поймы Оби, представленные глинами, суглинками, супесями и песками [39].



Рисунок 3.4 – Схематическая геологическая карта района работ (ФБГУ «ВСЕГЕИ», ФГПУ ЗапСибНИИГГ, 2010)
□ – участок работ

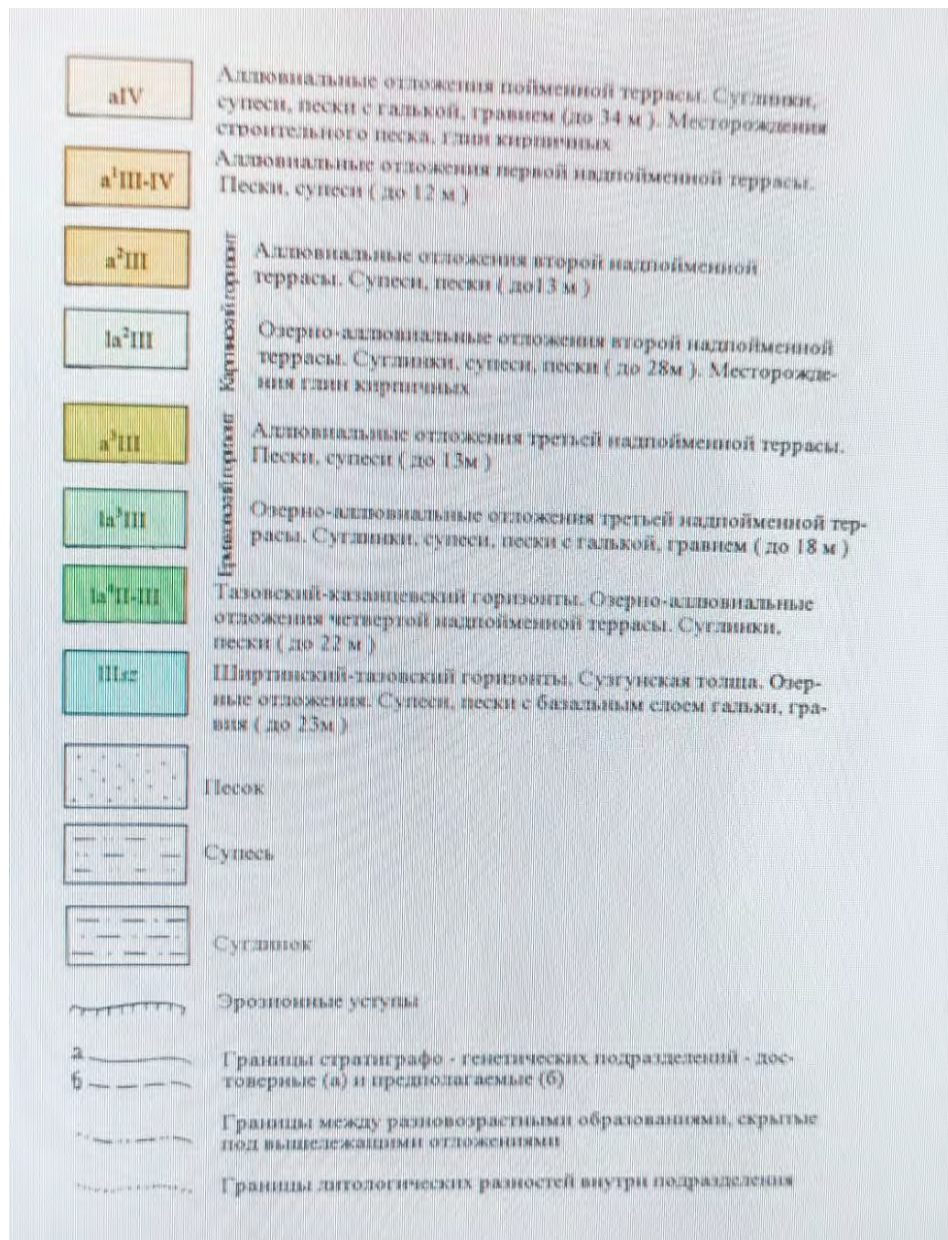


Рисунок 3.5 – Условные обозначения к схематической геологической карте района работ

В геологическом строении территории на исследуемую глубину до 18,0 м принимают участие:

(bq_{iv}) -современные болотные отложения, представленные торфом среднеразложившимся очень важным 2 типа. Территория площадки полностью заболочена. Болотные отложения залегают с поверхности до глубины 0,6-0,7 м.

– (aq_{iv}) -современные аллювиальные отложения пойменной террасы р. Оби, представлены глинами и суглинками от мягкопластичной до текучей консистенции, и песками мелкими.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием болотных и грунтовых вод. Болотные воды приурочены к торфяным отложениям с установлением уровня у поверхности. Грунтовые воды приурочены к суглинкам и глинам текучепластичной и текучей консистенции и пескам мелким водонасыщенным; уровни грунтовых вод устанавливаются на глубине 1,2-1,8 м.

Химический состав подземных вод гидрокарбонатный, преимущественно магниево-кальциевый, иногда кальциевый, натриево-магниево-кальциевый.

На рассматриваемой территории из специфических грунтов распространены органические и органоминеральные грунты.

Органические грунты представлены торфами среднеразложившимися очень влажными, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26-90, относятся к 2 типу. Болотная толща как основание относится к 2 типу. Болота по проходности строительной техникой, согласно СП 86.13330.2014-2 типа. Торф низинного типа.

Органоминеральные грунты на изучаемой территории представлены глинами мягкопластичной консистенции с низким содержанием органического вещества и глинами текучепластичной консистенции с примесью органического вещества.

3.3 Среднебалыкское месторождение

Среднебалыкское месторождение было открыто в 1965 году, а его разработка началась в 1980 году. Административно месторождение находится в Нефтеюганском районе Ханты-Мансийского округа Тюменской области [28].

В географическом отношении изучаемая территория располагается в пределах Среднеобской низменности Западной Сибири в левобережной части бассейна р. Обь. Район работ расположен в бассейне р. Большой Балык и ее притоков (Малый Балык, Малый Юган и др.), на левобережной части водосбора реки Айяун.

В геоморфологическом отношении район работ расположен в пределах Обско-Иртышской равнинной слаборенированной среднетаежной области Салымско-Обской террасовой болотно-таежной провинции. Территория представляет собой волнистую озерно-аллювиальную равнину [39].

Рельеф участков равнинный, пологоволнистый, с общим уклоном поверхности в северо-восточном направлении. Углы наклона поверхности не превышают 2° . Абсолютные высоты в районе работ колеблются в пределах от 68,97 до 76,33 м [28].

Большое количество осадков, равнинность рельефа, затрудненный сток, глинистый состав пород способствует значительному заболачиванию территории. Заболоченность территории составляет более 30 %.

Климат района относится к резко континентальному, характеризуется суровой и продолжительной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким летом, ранними осенними, поздними весенними заморозками, быстрой сменой погодных условий. Самый продолжительный климатический сезон в районе - зима. Климатическая характеристика подается по станции Угут и схожа с ранее описанными условиями Чупальского месторождения.

К опасным природным процессам на данной территории относятся заболачивание, морозное пучение и подтопление.

Заболачивание территории и развитие торфов. Поверхность исследуемой территории частично заболочена. Максимальная мощность болот достигает 2,3 м. Болота сложены торфами бурого цвета среднеразложившимися, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26-90, относятся к 2 типу.

Морозное пучение. Нормативная глубина сезонного промерзания минеральных грунтов определена в соответствии с п. 5.5.3 СП 22.13330.2016 [43], составляет для суглинков и глин 2,1 м (по данным метеостанции Угут). По относительной деформации морозного пучения грунты, находящиеся в слое сезонного промерзания, обладают следующими свойствами: сильнопучинистыми, торф является непучинистым грунтом [38]. Согласно СП

115.13330.2016 [43] по степени опасности морозного пучения, территория относится к «весьма опасным».

Подтопление. Согласно п. 5.4.8 СП 22.13330.2016 [43] по характеру подтопления территория относится к естественно подтопленным территориям. Согласно СП '15.13330.2016 по степени опасности подтопления территория относится к «весьма опасным».

В геоморфологическом отношении изучаемый участок расположен в левобережной части бассейна р. Большой Балык, на поверхности четвертой надпойменной террасы р. Обь. Поверхность территории представляет собой слабовсхолмленную озерно-аллювиальную равнину, со значительным количеством озер и болот [32].

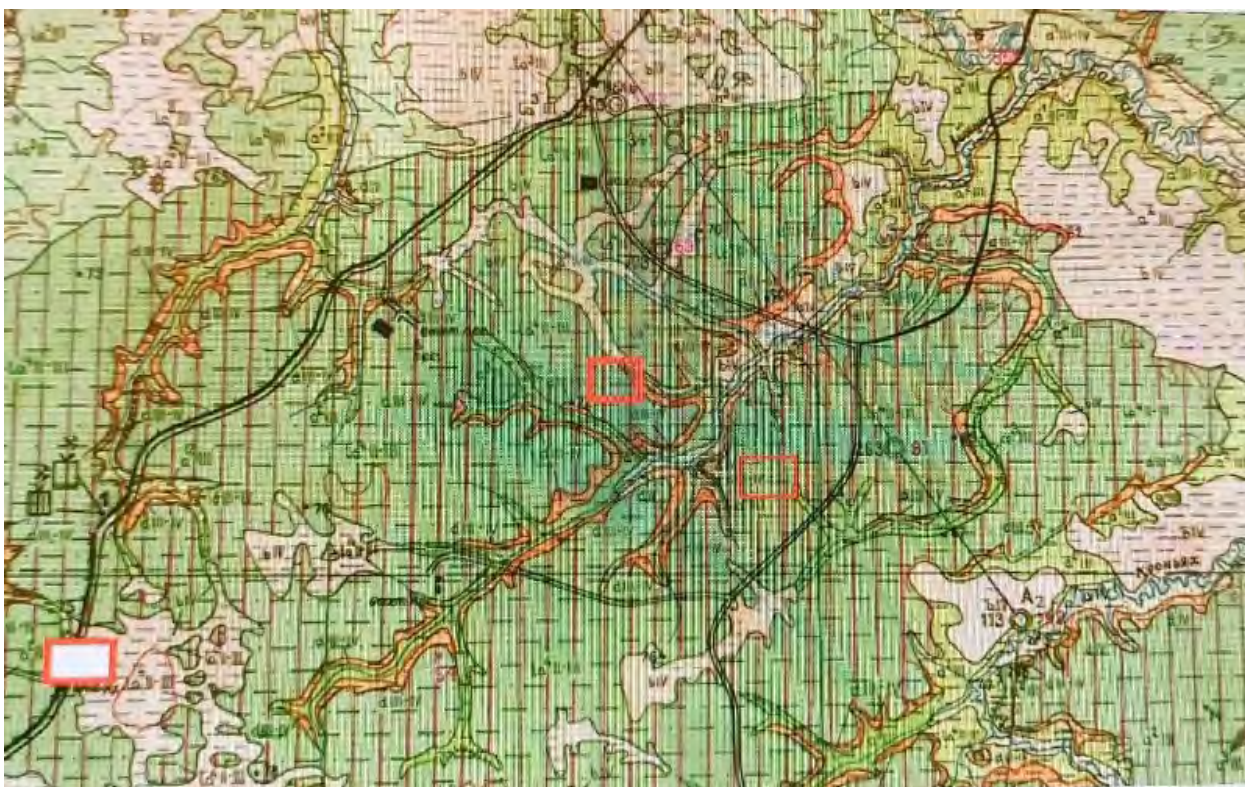


Рисунок 3.6 – Схематическая геологическая карта района работ

□ – участок работ

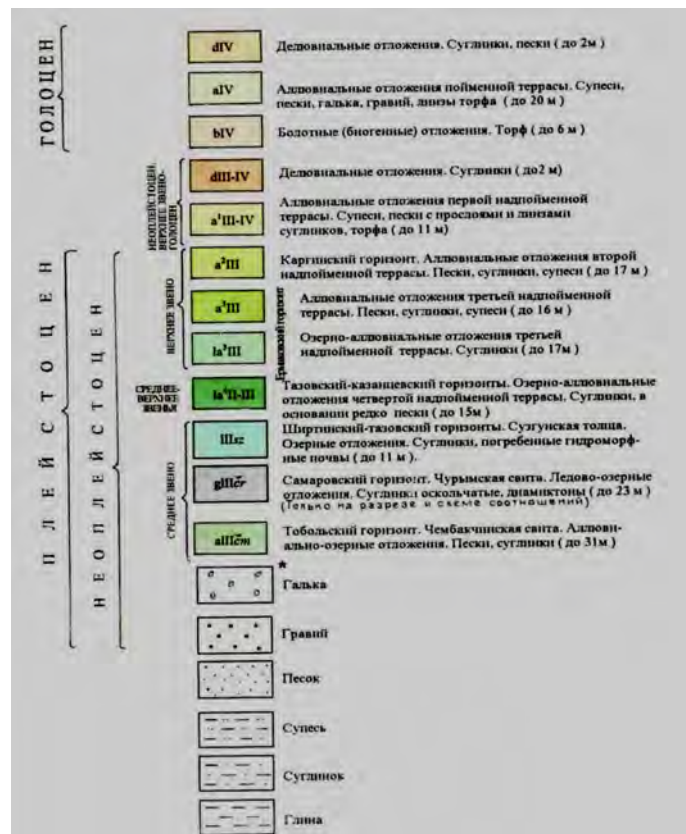


Рисунок 3.7 – Условные обозначения к схематической геологической карте района работ

В геологическом строении территории на исследованную глубину до 17,0-18,0 м принимают участие:

– (bQ_{IV}) — современные болотные отложения, представленные торфами верхового типа бурого цвета, среднеразложившимися, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26 90, относятся к 2 типу. Мощность болотных отложений достигает 0,3-2,0 м.

– (la⁴Q_{II-III}) - верхне-среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения четвертой надпойменной террасы р. Обь, представлены глиной мягкопластичной консистенции; суглинком мягкопластичной и текучепластичной консистенции.

Гидрогеологические условия изучаемой территории характеризуются наличием подземных вод следующих типов: подпочвенных и болотных. Подпочвенные воды приурочены к почвенному слою, имеют связь с атмосферой, уровень их установления зафиксирован у дневной поверхности, на глубине 0,1

м. Болотные воды приурочены к торфяным отложениям, уровень их установления фиксируется у дневной поверхности [31].

Химический состав подземных вод гидрокарбонатный кальциевый магниевый.

На рассматриваемой территории из специфических грунтов распространены органические грунты, представленные торфами среднеразложившимися очень влажными.

3.4 Мамонтовское месторождение

Мамонтовское месторождение нефти было открыто в 1965 году, освоение началось в 1970 году. В административном отношении месторождение расположено на территории Нефтеюганского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области Мамонтовского месторождения, на землях лесного фонда Территориального отдела - Нефтеюганское лесничество, Нефтеюганского участкового лесничества [33].

С географической точки зрения район изысканий находится в пределах Среднеобской низменности Западно-Сибирской равнины в левобережной части бассейна р. Обь. Район исследования расположен в бассейне р. Большой Балык.

В геоморфологическом отношении район работ находится на поверхности третьей надпойменной террасы р. Оби [40]

Поверхность территории представляет собой озерно-аллювиальную равнину со значительным количеством озер и болот.

Рельеф участков равнинный, пологоволнистый, с общим уклоном поверхности в северо-восточном направлении. Углы наклона поверхности не превышают 2°. Абсолютные высоты в районе работ колеблются в пределах от 28,45 до 43,47 м [37].

Заболоченность территории составляет более 50 %.

Климатическая характеристика дана по метеостанции Сургут и совпадает с климатической характеристикой Восточно-Сургутского месторождения.

К опасным геологическим процессам на данной территории относят заболачивание, морозное пучение и подтопление.

Заболачивание территории и развитие торфов. Максимальная глубина болот на изучаемой территории достигает 0,8 м. Болота сложены торфами бурого цвета среднеразложившимися, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26 90, относятся ко 2 типу.

Морозное пучение. Нормативная глубина сезонного промерзания минеральных грунтов определена в соответствии с п. 5.5.3 СП 22.13330.2016 [43] и составляет для суглинка и глины 2,4 м, песка мелкого (насыпной) - 2,75 м. Глубина промерзания торфа определена согласно п. Г.4 СП 25.13330.2012 и составляет 0,8 м.

По относительной деформации морозного пучения грунты, находящиеся в слое сезонного промерзания, относятся; суглинки текучепластичные к сильнолулучинистым, суглинки мягкопластичные также к сильнолулучинистым. Торф является непучинистым грунтом [38]. Согласно СП 115.13330.2016 [39] по степени опасности морозного пучения. территория относится к «умеренно опасным».

Подтопление. Согласно СП 115.13330.2016. по степени опасности подтопления, территория относится к «опасным». Согласно СП 22.13330.2016, п. 5.4.8, территория по характеру подтопления относится к естественно подтапливаемым территориям.

В геологическом строении территории на исследованную глубину до 17.0 м принимают участие [33]:

– (tQ_{IV}) — современные техногенные отложения. Насыпные грунты представлены песком мелким мощностью до 0,8 м.

– (bQ_{IV}) - современные болотные отложения, представленные торфом среднеразложившимся, который по своим свойствам, согласно ВСН 26-90,

относится ко 2 типу - очень влажный. Мощность болотных отложений достигает 0.8 м.

- (Ia³Q_{III}) - верхнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы р. Обь. Вскрытые отложения террасового комплекса представлены глинами и суглинками.



Рисунок 3.9 – Схематическая геологическая карта района работ [33]

□ – участок работ

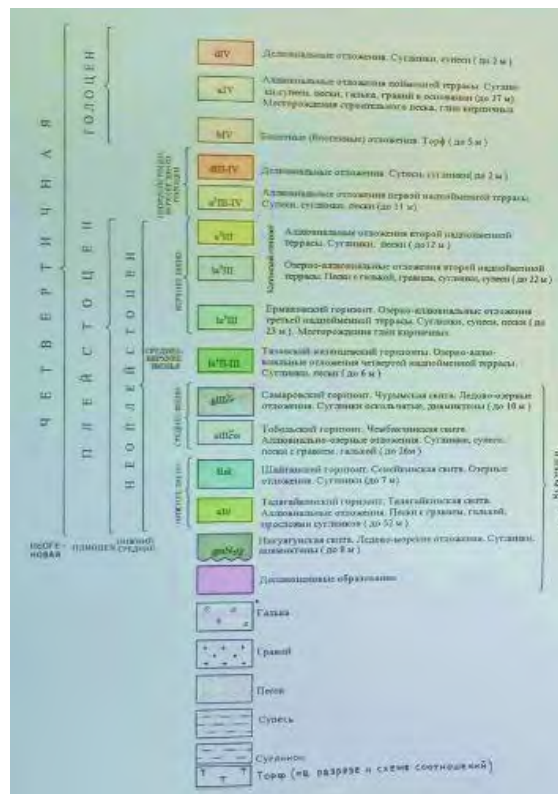


Рисунок 3.10 – Условные обозначения к геологической карте района работ

Гидрогеологические условия изучаемой территории характеризуются наличием подземных вод следующих типов: болотных вод, вод верховодки и грунтовых вод.

Болотные воды приурочены к торфяным отложениям, уровень их установления фиксируется у дневной поверхности. Воды верховодки приурочены к суглинкам текучепластичной консистенции с уровнем установления на глубине 2,1-3,1 м [33].

Грунтовые воды приурочены к суглинкам текучепластичной консистенции.

Уровень установления грунтовых вод на момент изысканий (январь 2021 г) зафиксирован на глубине 5,7-6,3 м.

Подземные воды по химическому составу гидрокарбонатные кальциевые магниевые.

На рассматриваемой территории специфические грунты представлены техногенными грунтами, органоминеральными и органическими грунтами.

Техногенные грунты на изучаемой территории встречены локально. Насыпные грунты представлены песком мелким мощностью до 0,8 м.

Органоминеральные грунты на изучаемой территории представлены глиной легкой пылеватой мягкопластичной консистенции с примесью органического вещества и суглинком тяжелым пылеватым тугопластичной и мягкопластичной консистенции с примесью органического вещества.

Органические грунты на изучаемой территории представлены торфом среднеразложившимся, который по своим свойствам, согласно ВСН 26-90, относится ко 2 типу - очень влажный. Мощность болотных отложений достигает 0,8 м.

3.5 Петелинское месторождение

Административно месторождение расположено в Нефтеюганском районе Ханты-Мансийского округа Тюменской области, в 107 км юго-западнее

от г. Сургут, в 67 км юго-западнее от г. Нефтеюганск, в 50 км юго-западнее от г. Пять-Ях (по прямой) [34]. Месторождение было открыто в 1979 году .

В географическом отношении изучаемая территория располагается в центральной части Западно-Сибирской низменности, в пойме широтного течения реки Оби и ее притоков [40].

В геоморфологическом отношении район представляет собой слаборасчлененную, заболоченную равнину.

Рельеф участка пологий. Углы наклона поверхности составляют $0 - 2^{\circ}, 4 - 6^{\circ}$. Характер рельефа определяется приуроченностью территории в долине Оби. Поверхность территории представляет собой слабовсхолмленную озерно-аллювиальную равнину со значительным количеством озер и болот [34].

Абсолютные отметки местности в границах съемки изменяются в пределах от 54,52 до 64,75 м.

Климатическая характеристика совпадает с климатическими условиями Чупальского месторождения

К опасным процессам на исследуемой территории относятся заболачивание, морозное пучение и подтопление.

Заболачивание территории и развитие торфов. Максимальная глубина болот достигает 0.7 м. Болота по проходимости строительной техникой, согласно СП 86.13330.2014, труднопроходимые, сложены торфами бурого цвета, сильноразложившимися.

Морозное пучение. Согласно СП 115.13330.2016 по степени опасности морозного лучения, территория относится к «опасным». Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов определена в соответствии с л. 5.5.3 СП 22.13330.2016, составляет для суглинков и глин - 2,22 м, для торфов - 0.8 м (по данным метеостанции Сургут).

По относительной деформации морозного пучения грунты, находящиеся в слое сезонного промерзания, относятся: к сильнопучинистым, и к среднепучинистым грунтам

Подтопление. Согласно СП 115.13330.2016. по степени опасности подтопления, территория относится к «опасным». Согласно СП 22.13330.2016. л. 5.4.8. территория по характеру подтопления относится к естественно подтапливаемым территория.

В геологическом строении территории на исследованную глубину до 21,0 м принимают участие [34]:

– (bQ_{IV}) - современные болотные отложения, представленные торфами бурого цвета сильноразложившимися, которые по своим свойствам, согласно ВСН 26-90, относятся к 1 типу Б. Мощность болотных отложений достигает 3.7 м.

– (Ia³Q_{III}) - верхнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы р. Обь, представленные глинами и суглинками. Грунты залегают повсеместно на суходолах с поверхности и под торфом на болотах.

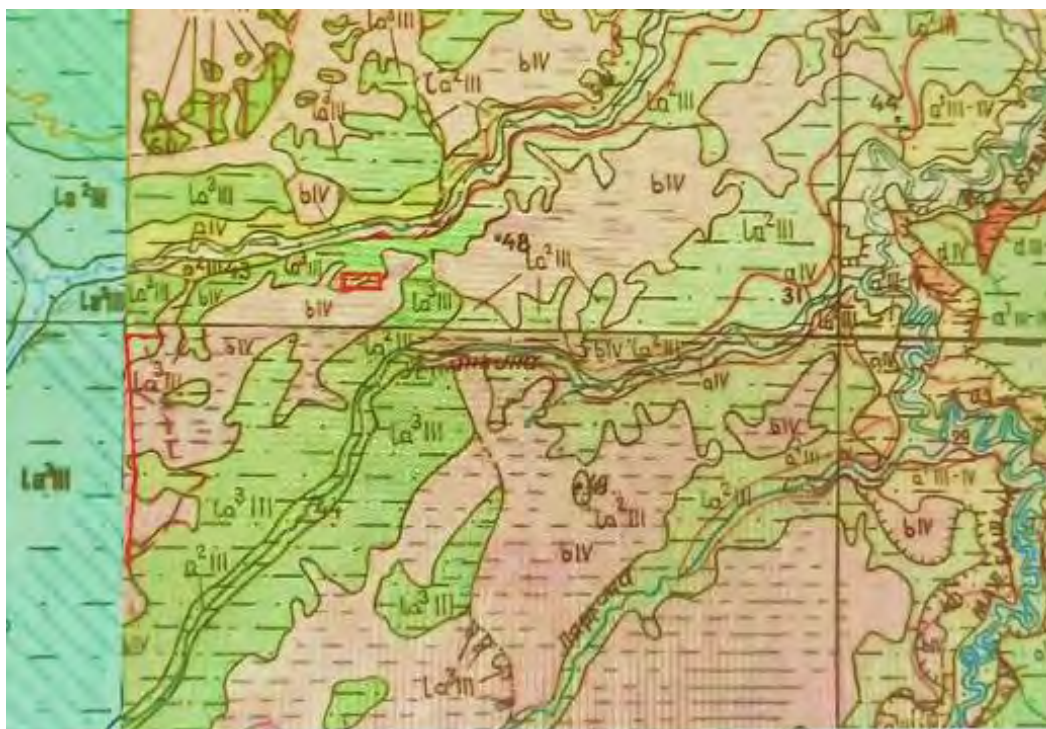


Рисунок 3.11 – Схематическая геологическая карта района работ [34]

□ – участок работ

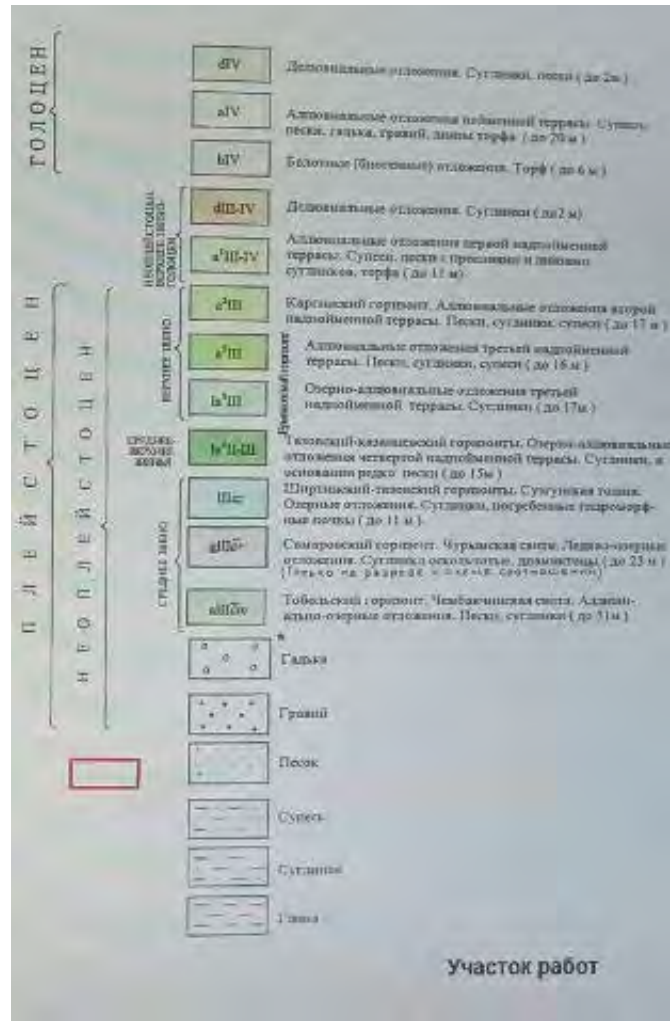


Рисунок 3.12 – Условные обозначения к геологической карте района работ

Гидрогеологические условия изучаемой территории характеризуются наличием болотных и грунтовых вод.

Болотные воды приурочены к торфам. Уровень установления подземных вод на момент изысканий (март, июнь 2021 г.) зафиксирован у дневной поверхности [34].

Грунтовые воды имеют несколько уровней и приурочены к суглинкам и гидравлически связаны с болотными водами, с единым уровнем установления у дневной поверхности и имеют схожий химический состав.

Рассмотрев, природные и инженерно-геологические условия изучаемых месторождений, можно сказать о близости их условий формирования.

Во-первых, климатическими характеристиками. Исследуемые районы формируются на территории средней тайги Западно-Сибири и характеризуются схожими условиями увлажнения и температурным режимом.

Во-вторых, обозначенные месторождения расположены на площади крупнейшей геоструктуры - Западно-Сибирской плиты с мощной толщей слабодислоцированных осадочных отложений, залегающих на глубоко погруженном палеозойском фундаменте.

По гидрогеологическому районированию относятся к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну, сложенному мощной толщей мезо-кайнозойских отложений.

Режим подземных вод исследуемых месторождений зависит от инфильтрации атмосферных осадков и притока со стороны террас, а также тесно связан с гидрологическим режимом рек.

Максимальное стояние подземных вод приходится на период массового снеготаяния и полного оттаивания грунтов. Разгрузка подземных вод происходит в поверхностные водотоки и водоемы, пониженные заболоченные участки.

На данных территориях большое количество осадков, равнинность рельефа, затрудненный сток, глинистый состав пород способствует значительному заболачиванию территорий исследования.

Глинистые грунты распространены практически на всех месторождениях, кроме Петелинского, суглинки встречаются повсеместно, супеси встречаются на месторождениях Петелинское и Чупальское.

Важно отметить, что исследуемые территории активно изменяются под антропогенным воздействием: строительством трубопроводов, дорог, обустройства скважин. В дальнейшем это приводит к изменению инженерно-геологических условий (появлению техногенных грунтов, удаление торфяной толщи, осушение болот и т.д.), и как следствие, изменению свойств грунтов.

При оценки коррозионных свойств вышеописанных месторождений, учитывалось, что изыскания по исследуемым территориям проводились в разное время года

Для анализа, зависимости УЭС от состава и физических свойств грунтов данные были разделены на две выборки, в зависимости от времени отбора и анализа проб грунтов: весна и осень при максимальных уровнях грунтовых вод (УГВ) – Чупальское, Восточно-Сургутское и Мамонтовское; лето и зима – при сниженном УГВ: Петелинское и Среднебалыкское.

4 Агрессивность грунтов и коррозионные процессы

4.1 Подземная коррозия

Инженерные проекты часто требуют использования металлических конструкций, частично или полностью заглубленных в грунт. В результате миллионы тонн подземных стальных конструкций находятся по всему миру. Например, такие конструкции включают в себя резервуары, фундаменты или трубы, которые пересекают страны для транспортировки воды, природного газа и опасных жидкостей от их источников к потребителям [44]. На самом деле большая часть всей энергии, потребляемой в развитых странах, проходит по нефтепроводу где-то между первоисточником и конечной точкой потребления. Основной проблемой, связанной со сроком службы заглубленных стальных конструкций, является коррозия [45]. Коррозия — это деградация стали, которая в конечном итоге приводит к выходу из строя инфраструктуры [46,47]. Это важный фактор на этапе проектирования таких инфраструктур не только из-за его влияния на структурную устойчивость, но и из-за его важности в экономических расчетах, поскольку он подразумевает дорогостоящее обслуживание на этапе эксплуатации [48,50]. Из-за коррозии металлические заглубленные конструкции необходимо регулярно осматривать, обслуживать и время от времени заменять [50]. Кроме того, выход из строя этих конструкций представляет серьезную опасность для здоровья человека и окружающей среды [41-53]. Например, при обрушении фундамента возможно, что конструкция, которую он поддерживает, также выйдет из строя или приведет к утечке опасных веществ, которые могут спровоцировать опасные взрывы [54,55]. В случае заглубленных стальных конструкций риск коррозии стали связан с окружающими условиями [56]. Чтобы описать коррозионное поведение материала, мы должны адекватно определить свойства окружающей среды, которой он будет подвергаться.

Подземная среда характеризуется огромной изменчивостью местных условий химического состава почв, электропроводности, влажности и т. д.

[57,58]. Кроме того, на него также влияют внешние факторы, такие как осадки и искусственные манипуляции с грунтом. Все эти факторы оказывают существенное влияние на поведение стали в каждом типе грунта. Несмотря на трудности, связанные с изучением поведения черных металлов в такой сложной среде, как грунт, знать их поведение необходимо в области техники. Большое количество стали, производимой в мире, направляется на строительство металлоконструкций, которые будут захоронены; поэтому необходимо исследовать влияние коррозии в подземных средах, чтобы добиться правильного и оптимального проектирования таких металлоконструкций. При проектировании заглубленных стальных конструкций исследователи стремятся определить достаточную толщину стальных труб в соответствии с требуемыми гарантиями, обеспечивающими их согласованный срок службы. Точность процесса проектирования позволяет регулировать допуски. Таким образом, требуется меньше материала и снижается стоимость изготовления, что позволяет создавать более экономически конкурентоспособные предложения и повышает вероятность успеха. Кроме того, устранение защитной толщины за счет оптимального размера позволяет проектировать инфраструктуру в соответствии с принципами устойчивого проектирования с точки зрения эффективности и потребности в материалах. Для достижения оптимального соотношения между безопасностью и стоимостью заглубленных стальных конструкций жизненно важно предоставить проектировщикам оптимальные инструменты.

Трудно определить местонахождение и спрогнозировать степень повреждения коррозией залегающих под землей труб из-за отсутствия доступа к подземным активам [59,60]. Разработка эмпирически прогнозирующего уравнения срока службы является сложной задачей, в основном из-за трудностей, возникающих при сборе данных в течение срока службы активов, которые являются точными и содержат соответствующие переменные для использования [61,62]. Для предотвращения этих проблем ранее использовались статистические методы для факторизации и обобщения подземной коррозии [59-64]. Тем не менее, эффективность и точность методов зависят от полевых наблюдений

и фактических достоверных данных [63,64]. Также существует необходимость разработки метода определения местоположения и прогнозирования общего состояния трубопроводов под землей [65]. Электрохимическая теория может описывать коррозию в почвах благодаря пониманию природы как электролитов, так и задействованных механизмов [61,66,67].

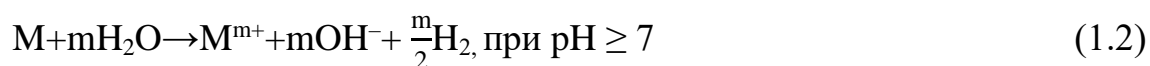
4.2 Механизмы подземной коррозии

При широком определении коррозии, как разрушения материалов в результате реакции с окружающей средой число механизмов, посредством которых происходит ухудшение, велико. В общем, механизм коррозии представляет собой фактический процесс переноса атомов, молекул или ионов, происходящий на границе раздела материала. Эти процессы обычно включают более одной определяемой стадии, и основной интерес направлен на самую медленную стадию, которая существенно контролирует скорость всей реакции. При коррозии, конечно, эта скорость должна быть как можно меньше. Поскольку эти процессы нельзя наблюдать непосредственно в атомном масштабе, необходимо сделать вывод о возможных механизмах на основе косвенных измерений и наблюдений. Примерами являются скорость изменения веса или размеров, скорость накопления продуктов коррозии в окружающей среде, изменения внешнего вида поверхности, исследуемые с помощью оптической или электронной микроскопии, или изменения механических или физических свойств. Когда происходит электрохимическая коррозия, механизмы могут быть выведены из измерений электрического потенциала и тока.

При рассмотрении инженерных материалов, таких как металлы, полимеры и керамика, перенос массы через границу раздела с окружающей средой можно в широком смысле рассматривать как электрохимический, химический или физический. Поскольку электрохимическая коррозия включает выброс ионов в окружающую среду и движение электронов внутри материала, этот механизм может иметь место только в том случае, если окружающая среда может содержать ионы, а материал может проводить электроны. Наиболее

важным случаем электрохимических механизмов является простая коррозия металлов в водных растворах, когда атомы на поверхности металла входят в раствор, когда ионы металла и электроны мигрируют через металл к месту, где для поддержания реакции они поглощаются частицами, контактирующими с металлом. В более сложных случаях ионы металлов переходят в раствор, образуя комплексные ионы, или они соединяются с другими веществами в растворе и осаждают такие соединения, как гидроксиды, оксиды или сульфиды. При достаточно высоких температурах металлы подвергаются коррозии в газах, особенно в кислороде, с образованием оксидов. В то время как механизм в этом случае, по-видимому, является одним из прямого химического воздействия, механизм все еще может быть электрохимическим по своей природе, с ионами и электронами, движущимися в оксиде, который действует как электролит, поддерживающий электрохимический механизм.

Для металлов M , термодинамически неустойчивых в воде, простейшими коррозионными реакциями являются:



Таким образом, металл переходит из металлического состояния в ионы валентности m в растворе с выделением водорода. Считается, что реакция идет непосредственно с ионами водорода в кислом растворе и постепенно с молекулами воды по мере увеличения pH до нейтральных и щелочных условий. В реакцию вовлечены два процесса, каждый из которых включает изменение заряда: M в M^{m+} и mH^+ в $m/2 H_2$ (в растворе кислоты). Изменение заряда происходит за счет переноса электрона с M на H^+ . Поскольку металлическая фаза является проводником электронов, она поддерживает перенос электронов, позволяя двум процессам происходить в разных местах на поверхности металла. В предельных случаях эти процессы протекают в пределах нескольких диаметров атомов на поверхности, причем участки постоянно меняются во времени, что приводит к равномерной коррозии. В противном случае коррозия

будет неравномерной. Равномерная коррозия, поддерживаемая рН, схематично представлена на рисунке 4.1. В этом примере кислород исключается за счет продувки газообразным азотом и защитного слоя.

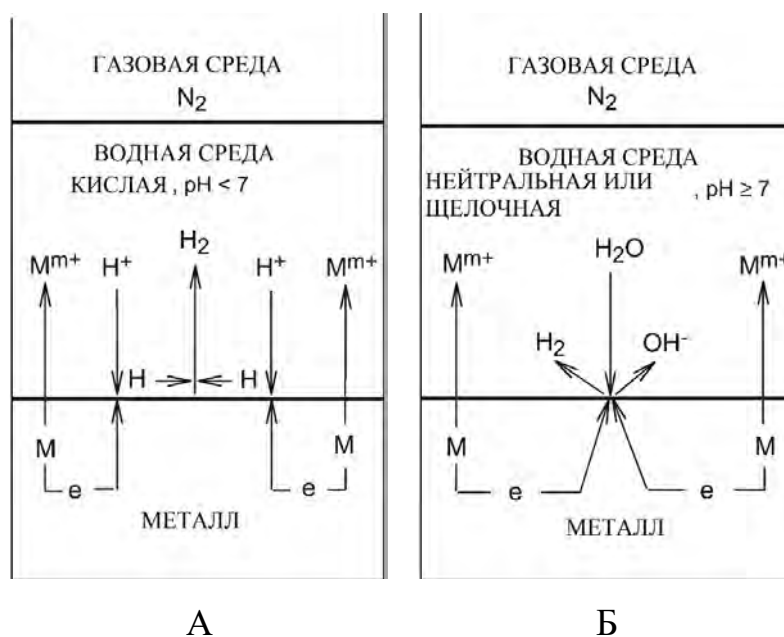
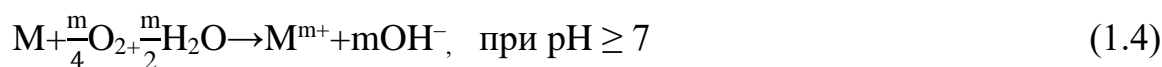
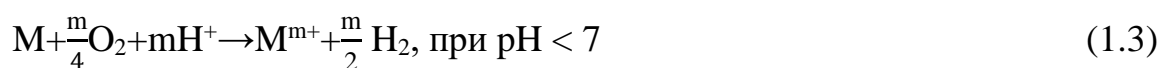


Рисунок 4.1 – Сплошная коррозия, поддерживаемая регулируемым рН (исключая кислород, деаэрация). (а) Кислая, рН < 7 (б) Нейтральная или щелочная, рН ≥ 7

Когда в растворе присутствует растворенный кислород, обычно из-за контакта с воздухом (аэрируемая среда), в дополнение к только что рассмотренным применяются следующие реакции:



Равномерная коррозия, поддерживаемая растворенным кислородом и рН, схематично представлена на рисунке 4.2. Поскольку электроны теперь расходуются на две реакции, скорость коррозии металла увеличивается. В случае железа растворенный кислород более важен для поддержки коррозии, чем присутствие ионов водорода, когда рН выше примерно 4. Это первая иллюстрация роли растворенного кислорода (аэрация растворов) в коррозии.

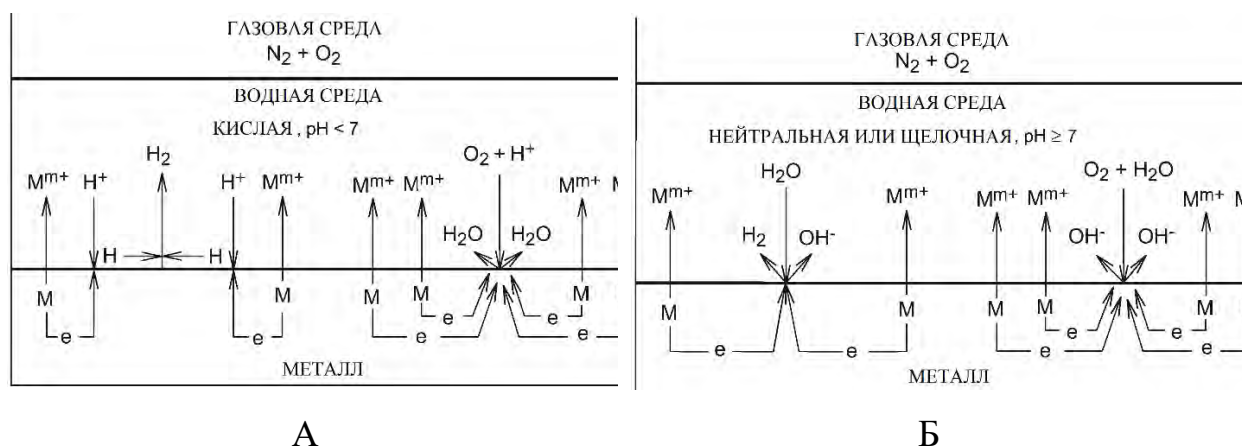


Рисунок 4.2 – Сплошная коррозия поддерживаемая рН и растворенным кислородом (аэрация). (а) Кислая, рН < 7. (б) Нейтральная или щелочная, рН ≥ 7

Примером образования продуктов коррозии является ржавление железа, как показано на рисунке 4.3. Когда рН выше примерно 4 и в условиях аэрации, в контакте с железной подложкой образуется слой черного Fe_3O_4 и, возможно, $Fe(OH)_2$. В присутствии растворенного кислорода образуется внешний слой красного Fe_2O_3 или $FeO(OH)$.

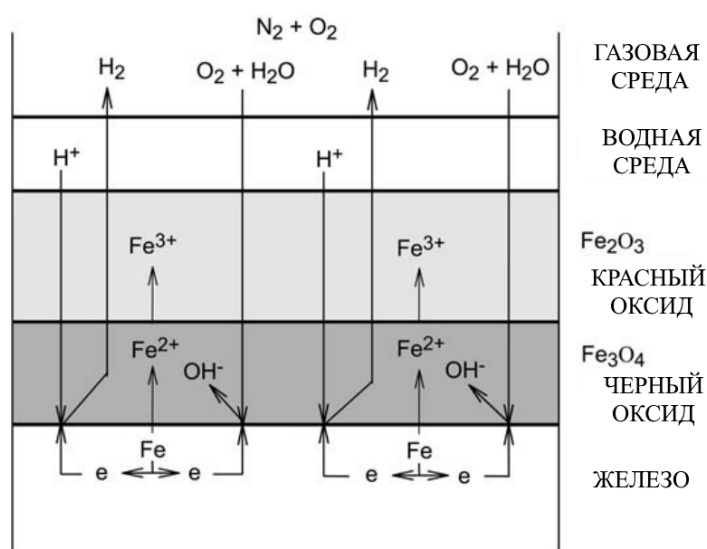


Рисунок 4.3 – Сплошная коррозия с твердыми отложениями продуктов коррозии. Детали образования оксидных частиц здесь не рассматриваются.

Адгезия и пористость этих слоев со временем меняются, и на них могут влиять другие химические вещества в окружающей среде, такие как ионы хлоридов и сульфатов. В любом случае образование слоя продуктов коррозии

влияет на скорость коррозии, создавая барьер, через который должны диффундировать ионы и кислород, чтобы поддерживать процесс коррозии.

Основной процесс коррозии представлен на рисунке 4.4. В простейшем случае коррозионная реакция представляет собой переход атомов металла из твердого тела в раствор, где они существуют в виде ионов (т. е. $M \rightarrow M^{m+} + me$). Поскольку при этом переносе атом металла теряет электроны, металл подвергается окислению. Окисление поддерживается за счет поглощения электронов другой реакцией, обобщенной в данном случае как $X^{x+} + xe \rightarrow X$.



Рисунок 4.4 – Основной процесс коррозии

Окисление происходит на участке поверхности металла, называемом местом анодной реакции, и является местом потери металла в результате коррозии. Электроны захватываются катодным реакционным центром. Области, в которых протекают анодные и катодные реакции, сильно различаются по отдельности и могут простираются от положений, отстоящих друг от друга на несколько атомных расстояний на поверхности, до микроскопических и даже макроскопических площадей, простирающихся до сотен квадратных метров. Когда участки расположены так близко друг к другу, что их невозможно различить, и когда участки претерпевают изменения и инверсии со временем, говорят, что происходит однородная коррозия. С разрешаемыми областями и/или с анодными и катодными участками, которые не меняются со временем,

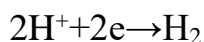
коррозия будет в значительной степени идентифицирована только по анодным областям, и говорят, что происходит локальная коррозия. Очевидно, что существуют большие различия в интерпретации того, что такое сплошная коррозия и что такое локальная коррозия. Это часто зависит от масштаба наблюдения или величины разницы в скорости коррозии между областями, которые являются преимущественно анодными, и областями, которые являются преимущественно катодными, поскольку обе реакции часто происходят по всей поверхности. Если два процесса происходят в микромасштабе, то анодная и катодная площади считаются одинаковыми и равными общей площади A . Если два процесса происходят в разных областях, то область анодной реакции A_a отличается от области катодной реакции A_c .

Для конкретного примера, такого как коррозия железа в аэрированном растворе кислоты, результирующая реакция из-за кислотности выглядит следующим образом:

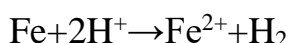
Анодная реакция:



Катодная реакция:



Общая реакция:

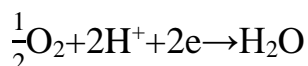


а реакция, связанная с растворенным кислородом:

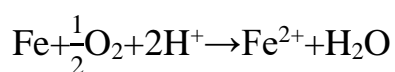
Анодная реакция:



Катодная реакция:



Общая реакция:



Чтобы показать, что эти реакции на самом деле протекают вправо (т. е. показать, что коррозия действительно происходит), необходимо вычислить

изменение свободной энергии Гиббса и найти, что оно отрицательно. Для выполнения этого расчета необходима количественная информация об активности или эффективной концентрации ионов железа (Fe^{2+}) в растворе, кислотности или рН и концентрации растворенного кислорода, которая связана с парциальным давлением кислорода, PO_2 в контакте с раствором. Однако скорость коррозии зависит от факторов, влияющих на кинетические механизмы нескольких процессов, участвующих в переносе ионов из металла в раствор и в поддерживающих катодных реакциях. В дополнение к веществам в растворе, непосредственно связанным с вышеупомянутыми реакциями (Fe^{2+} , H^+ и O_2), другие вещества в растворе могут влиять как на склонность к коррозии с точки зрения термодинамических движущих сил, так и на кинетику нескольких вовлеченных стадий. Например, комплексообразователи, реагирующие с ионами металлов в растворе, снижают концентрацию свободных ионов металлов и делают термодинамически более благоприятным переход ионов металлов в раствор, увеличивая тем самым скорость коррозии. И наоборот, если частицы в растворе могут образовывать осадки с ионами металлов и образовывать защитные диффузионные барьеры на границе раздела, скорость коррозии может значительно снизиться.

4.3 Факторы, влияющие на почвенную коррозию

Грунт представляет собой очень сложную агрессивную среду и, следовательно, коррозия металлов в этой ситуации носит экстремальный характер [68,69]. Причина этой нестабильности кроется в постоянно меняющейся подземной среде. В 1928 году Логан определил, что деградация захороненного материала сильно зависит от характеристик грунта, в которой он захоронен [70]. Большинство деструктивных процессов, воздействующих на захороненные металлы, носит электрохимический характер, в основном связанный с особенностями грунтов, в которых они находятся [71,72]. Ниже перечислены основные факторы, влияющие на коррозию этих инфраструктур.

Текстура грунта. Структура грунта состоит из распределения размеров минеральных частиц, которые образуют грунт. Рельеф сложен глинами (диаметром менее 0,002 мм), илом (диаметром от 0,002 до 0,5 м) и, наконец, песками с наиболее крупными частицами (диаметром более 0,05) [73]. Эти частицы в свою очередь подразделяются на толстые, средние и тонкие. В зависимости от принятых значений процентного содержания песка, глины и ила классификация почвы по семействам определяется по тройной диаграмме, представленной на рисунке 4.5. Более мелкие частицы почвы считаются наихудшей коррозионной средой для заглубленных стальных конструкций. Минеральное содержание глины поглощает больше воды, поскольку она имеет большую поверхность, поэтому она очень эффективна при разрушении металлов [74-76].

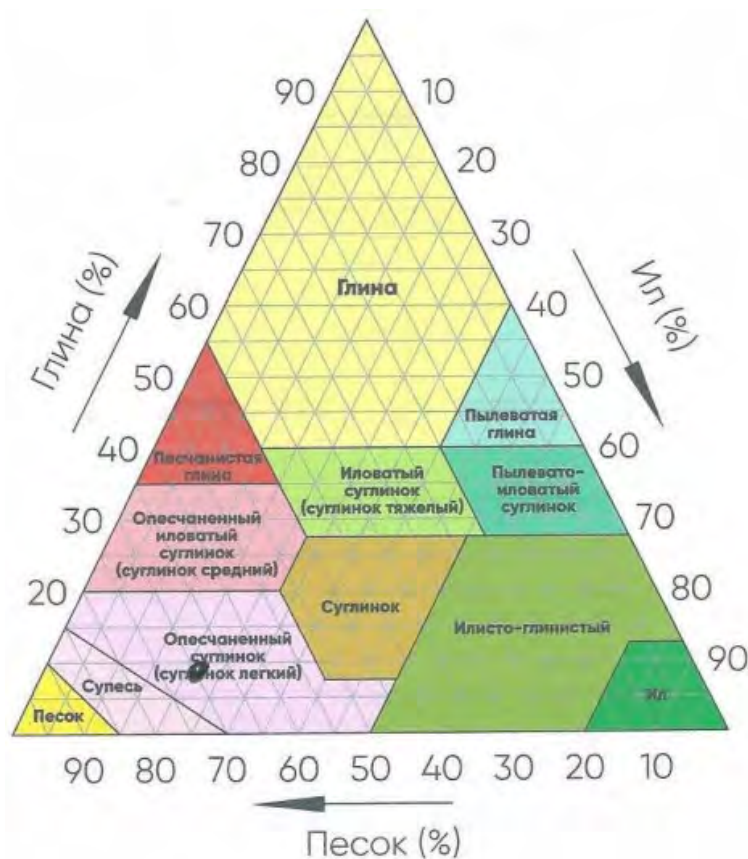


Рисунок 4.5 – Тройная диаграмма состава почвы (треугольник Ферре) [77]

Наличие воды. Вода является важным параметром при оценке коррозионной активности почв [78]. В 1979 г. исследования показали прямую зависимость между потерями массы в трубопроводах и влажностью почв [75]. В 2015

г. результаты исследования по оценке влияния почвенной влаги на коррозию подтвердили ее важное влияние на скорость коррозии (рисунок 4.6). Причина этого в том, что жидкая вода представляет собой важный электролит для реакций электрохимической коррозии. Поэтому необходимо учитывать такие факторы, как влажность почвы, водоудерживающая способность, уровень грунтовых вод и подвижность воды в почве.

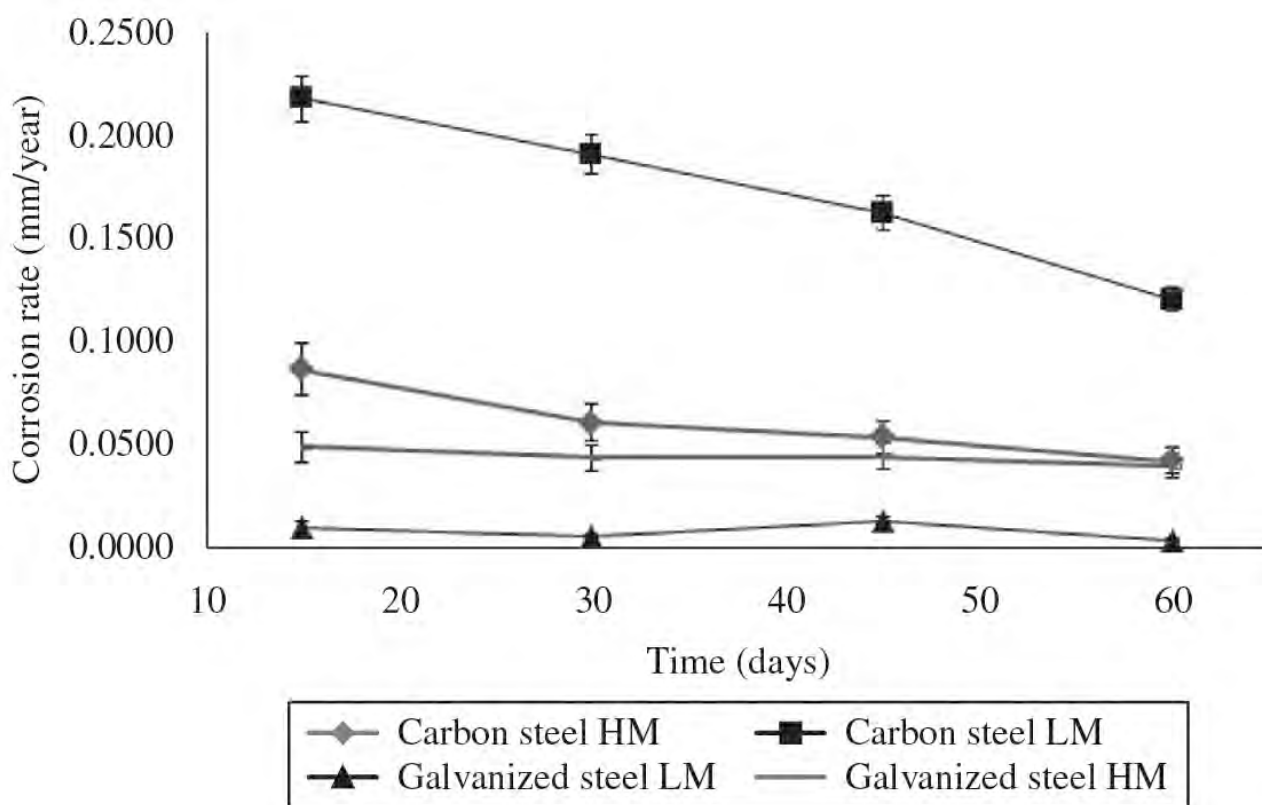


Рисунок 4.6 – Скорости коррозии, полученные гравиметрическим методом (HM: Высокая влажность и LM: Низкая влажность) [79]

Аэрация. В нейтральных или щелочных грунтах концентрация кислорода оказывает существенное влияние на степень коррозии из-за его участия в катодной реакции. Однако в присутствии некоторых бактерий коррозия может быть очень высокой даже в анаэробных условиях. Следует отметить, что земляные работы могут значительно повысить степень аэрации почвы. Принято считать, что скорость коррозии в нарушенных грунтах с высокой доступностью кислорода значительно выше, чем в неизмененных грунтах.

Окислительно-восстановительный потенциал. Окислительно-восстановительный потенциал, по сути, является мерой степени аэрации почвы: высокий окислительно-восстановительный потенциал указывает на высокий уровень кислорода. Величина окислительно-восстановительного потенциала почвы зависит от содержания растворенного кислорода в поровой воде и дает некоторую информацию об условиях, в которых восстанавливающие бактерии почвы могли выращивать сульфат [80]. Низкие значения окислительно-восстановительного потенциала могут свидетельствовать о том, что условия благоприятны для анаэробной микробиологической активности [81].

pH. В 2004 году Огузи провел исследование коррозии, в котором было высказано предположение, что заглубленные металлические конструкции подвержены коррозии при любом значении pH [82]. Тем не менее, проект, выполненный Тибу, показал, что pH не является доминирующим фактором в механизме коррозии, когда почвы имеют pH в диапазоне от 4 до 8,5 (обычный диапазон для почвы) [83]. Несмотря на эти противоречия, исследования в этой области коррозии совпадают с тем фактом, что более кислые почвы имеют гораздо более высокий риск коррозии конструкционных материалов, таких как сталь. С другой стороны, щелочные почвы, как правило, имеют высокие концентрации магния и кальция, которые часто образуют отложения на погребенных поверхностях с защитными свойствами от коррозии.

Удельное сопротивление. Из-за взаимосвязи между коррозией и проводимостью удельное сопротивление считается основной переменной для изучения в области коррозионной активности почвы. Поскольку поток ионных токов связан с коррозионными реакциями, грунты с высоким сопротивлением имеют тенденцию замедлять их воздействие [84]. Удельное сопротивление почвы обычно уменьшается с увеличением содержания воды и концентрации ионных частиц [85]. Важно отметить, что одного удельного сопротивления недостаточно для оценки риска коррозии, поэтому его полезность в качестве единственного абсолютного показателя весьма ограничена [86]. Удельное сопротивление грунта может быть измерено несколькими традиционными

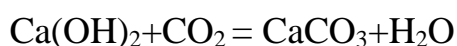
методами, такими как метод четырех стержней Веннера или, совсем недавно, с помощью электромагнитных измерений [87]. Измерения удельного сопротивления могут производиться как на месте, так и в лаборатории. Однако Феррейра определил, что лабораторные измерения удельного сопротивления иногда плохо коррелируют с полевыми результатами [88].

К основным компонентам состава грунта, активно влияющих на величину агрессивности относятся бикарбонатная щелочность, агрессивная углекислота, карбонаты, хлорид-ион, сульфат-ион, нитрат-ион, кальций, магний, ион-железа, натрий, калий и ионаммония [89].

При невысоком содержании в грунтах бикарбонатной щелочности наблюдается выщелачивание растворимых компонентов бетона. Грунт является выщелачивающим при содержании гидрокарбоната в количестве 0,4-1,5 мг-экв. Это проявляется в растворении одного из основных составляющих бетона, карбоната кальция, и выносе гидроксида кальция.

Степень агрессивности раствора грунта определяется растворимостью карбоната кальция. Вынос гидроксида кальция увеличивается в присутствии хлорида магния, который вступает в обменную реакцию с гидроксидом кальция, образуя хорошо растворимый хлорид кальция.

Агрессивное воздействие *двуокиси углерода* возникает в результате наличия избытка оксида углерода в грунтах по отношению к гидрокарбонатами проявляется при взаимодействии как с составной частью бетона – гидроксидом кальция, так и со стержнями арматуры. В результате взаимодействия агрессивной углекислоты с бетоном происходит выщелачивание бетона путем перевода в раствор углекислого кальция – основного компонента состава бетонных конструкций [89]. Взаимодействие гидроксида кальция с двуокисью углерода описывается следующей реакцией:

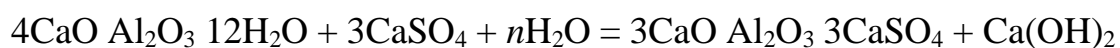


Избыток двуокиси углерода также влияет и на стержни арматуры, путем снижения уровня pH, что приводит к развитию коррозии и разрушению

бетонных конструкций. Это возникает, если под действием углекислоты уровень рН в бетоне становится менее 11, и, как следствие, происходит нейтрализация пассивирующей пленки с дальнейшей коррозией арматурных стержней и отслаиванием бетона. Как только начнется разрушение бетона, разрушение арматурных стержней интенсифицируется, поскольку появляются новые пути доступа для кислорода и влаги [90].

Агрессивность грунтов по отношению к таким материалам как бетон и алюминий так же оценивается наличием в них *хлорид-иона*. Как при воздействии на алюминий происходит разрушение защитной оксидной пленки, что способствует усилению коррозионных процессов, так и при воздействии на бетон при достижении хлорид-иона арматурных стержней происходит разрушение пассивирующей пленки оксидов железа, в результате чего арматура подвергается процессам коррозии. Время проникновения хлорид-иона в материал зависит от концентрации хлоридов, наличия влаги, а для бетонных сооружений также от проницаемости бетона [91]. При этом концентрация хлоридов, требуемая для поддержания коррозии арматурных стержней, прямо пропорциональна рН бетона. Чем выше щелочность, тем больше концентрация хлоридов, которая требуется для начала процесса коррозии. С учетом этого можно сделать вывод о том, что воздействие хлоридов является своеобразной «подготовкой почвы» для дальнейшего разрастания карбонатами железобетонных конструкций [91].

Сульфатная агрессивность грунтов оценивается по содержанию ионов SO_4^{2-} . Почвенный раствор грунта, содержащий свыше 250 мг/л сульфатных ионов, приобретает агрессивные свойства. Присутствующие в воде в больших концентрациях сульфатные ионы, проникая в бетон, при кристаллизации образуют сульфаталюминат кальция, являющийся причиной вспучивания и разрушения бетона [90]. Реакция образования сульфаталюминат кальция, вызывающая сульфатную агрессию идет по схеме:

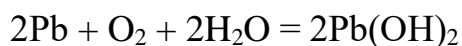


При наличии в грунтах *нитрат-иона* он проявляет свои агрессивные свойства как по отношению к бетону, так и к свинцовой оболочке кабеля. При нахождении нитрат-ионов в грунтах, например, в соединениях азотной кислоты, они могут взаимодействовать со свинцом с образованием нитрата свинца (II) ($Pb(NO_3)_2$). Образующиеся соединения являются легко растворимыми, что и приводит к разрушению свинца, т.е. появлению коррозии [90]. Реакция взаимодействия свинца и нитрат-иона имеет следующий вид:



Агрессивное воздействие нитрат-иона на бетонные сооружения, так же, как и хлор-иона заключается в основном в его воздействии на арматурный каркас, являющийся основой для железобетонных конструкций. При воздействии нитратов на арматуру происходит ее растрескивание под воздействием агрессивной среды и механического напряжения, возникающего в результате давления на каркас. Содержание нитратов, при которых происходит проявление коррозионных процессов в арматуре железобетонных сооружений, варьируется в зависимости от ее состава, например, растрескивание арматуры из мягкой стали происходит даже при концентрации нитрата кальция менее 0,1% [92].

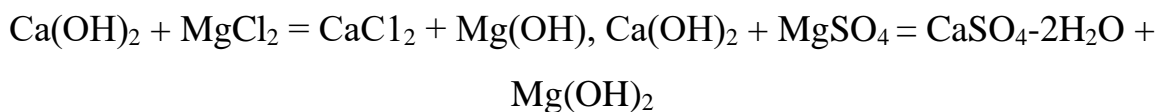
Кальций и магний в сумме составляют показатель *общей жесткости*, содержание которого является одним из показателей степени коррозионной активности свинцовой оболочки кабеля. При наличии кислорода и влаги в грунтах происходит разрушение свинца с образованием гидроксида свинца (II):



Однако при соприкосновении с жесткой водой свинец покрывается защитной пленкой нерастворимых солей, препятствующей дальнейшему действию воды и образованию гидроксида [93].

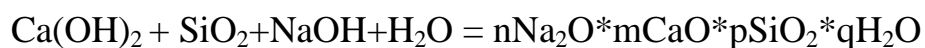
Кроме того, *магний* проявляет агрессивность по отношению к бетону. Магнезиальная агрессия ведет к разрушению бетона при воздействии на

гидроксид кальция растворов магниевых солей. Наиболее характерная реакция для данного вида агрессивного воздействия проходит по следующей схеме:



Двуводный сульфат кальция, как и хлорид кальция хорошо растворим в воде и вымываются из бетона, вместе с тем двуводный сульфат кальция увеличивается в объеме, что ускоряет появление трещин в бетоне и увеличивает воздействие сульфатной агрессивности грунтов. Гидроксид магния мало растворим в воде, но выпадает в осадок в виде рыхлой массы, которая также вымывается из бетона [94].

Агрессивность ионов натрия и калия, относящихся к *едким щелочам*, проявляется в первую очередь по отношению к бетону. При воздействии на бетон водорастворимые щелочные соединения взаимодействуют с аморфным реакционноспособным кремнеземистым заполнителем — опаловидным кремнеземом с образованием геля щелочного силиката кремния, способного поглощать воду, расширяться, создавая высокое внутреннее напряжение, и тем самым приводить к растрескиванию бетона [95]. Образование геля в процессе щелочной коррозии происходит по реакции:



На степень агрессивности грунтов к тому или иному материалу, кроме прочего, также влияет содержание *ионов-железа* в грунтах. При его высокой концентрации в грунтах во время воздействия на металл происходит развитие питтинговой коррозии за счет образования локальных электрических цепей в токопроводящем электролите. Количество и размер таких корродирующих участков пропорциональны доле площади, занимаемой ионами железа [90].

Агрессивность грунтов может возникать также и под действием органических кислот. Активно она развивается под действием минеральных удобрений, особенно *аммиачных*, к которым относятся сульфат аммония и

аммиачная селитра. Аммиачная селитра, состоящая в основном из NH_4NO_3 , действует на гидроксид кальция с образованием нитрата кальция:



Данное соединение хорошо растворяется в воде и вымывается из бетона, что приводит к его коррозии и разрушению [94].

Кроме непосредственно солевого состава, каждый компонент которого различной степенью агрессивности влияет на коррозию металлов, важную роль играет так же и распространение засоления грунтов, ведь при его неравномерности, например, по трассе линейного металлического сооружения, также происходит увеличение агрессивного воздействия грунта [96].

Бактерии. Иногда коррозия может быть вызвана присутствием и активностью микроорганизмов. Свойства органического вещества и содержание карбонатов в почвах имеют важное значение в процессе коррозии стали [97-99]. Это могло произойти в результате глинистых почв, богатых гумусом, которые очень связны и препятствуют образованию антикоррозионного поверхностного слоя на металлическом объекте, что допускается другими грунтовыми средами. Имели место случаи чрезвычайно высокой скорости коррозии из-за активности бактерий, и становится все более очевидным, что явное большинство металлических сплавов восприимчиво к этому типу коррозии. Несколько исследований показали, что микробиологическая коррозия является одной из причин выхода из строя труб, заглубленных в наиболее агрессивные грунты [100-102]. Количественно установлено, что более 20% отказов, возникающих в трубах, связаны с микроорганизмами [103]. В 2009 году исследование показало, что этот процесс составляет примерно 20% затрат на коррозию во многих промышленно развитых странах [104]. Из-за роли микроорганизмов в коррозии появился термин «микробиологически внедренная коррозия» (MIC), который относится к явлению, при котором коррозия инициируется или усиливается активностью микроорганизмов. Первый случай MIC был выявлен в 1934 г., когда сульфатредуцирующие бактерии (SRB) привели к выходу из

строю чугунных труб, закопанных в анаэробную почву [105]. После этого наблюдения было написано множество работ о влиянии бактерий [106].

После анализа параметров почвы, влияющих на коррозию по отдельности, можно сделать вывод, что коррозия стали в грунте представляет собой сложное явление, в которое вовлечено множество переменных. Каждый из этих параметров влияет на коррозию заглубленных металлических конструкций. Таблица 4.1 описывает каждую из изученных переменных, а также их связь с механизмом деградации.

Таблица 4.1 – Связь между параметрами почвы и коррозией

Параметр	Связь
Текстура почвы	Прямая
Наличие воды	Прямая
Аэрация	Прямая
Окислительно-восстановительный потенциал	Прямая
pH	Обратная
Удельное сопротивление	Обратная
Содержание ионов	Прямая
Бактерии	Прямая

В приведенной выше таблице взаимосвязь каждой переменной с коррозией показана независимо. Однако почвенная среда подразумевает повторение всех этих переменных, которые одновременно и сильно влияют на заглубленные металлические конструкции. Таким образом, коррозия, возникающая в стали в этой среде, не является следствием одного параметра, а является явлением, вызванным повторением множества различных факторов, влияющих на деградацию. Очень важно подчеркнуть, что параметры почвы не работают сами по себе, а каждая переменная влияет на другие переменные и находится под их влиянием, как показано на рисунке 4.7.

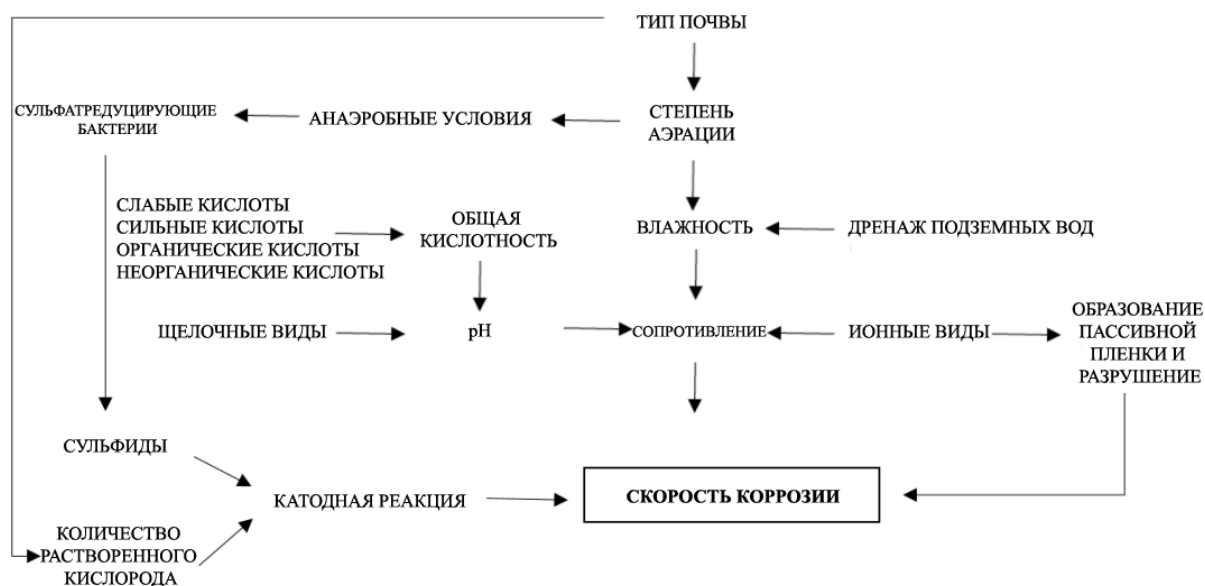


Рисунок 4.7 – Взаимосвязь переменных, влияющих на скорость коррозии в почве [19]

Подводя итоги, важно отметить, что коррозия является следствием повторения различных факторов, характерных для местных условий каждого типа почвы. Поэтому, учитывая сложность параметров, влияющих на коррозию, и тесную взаимосвязь между ними, становится очевидным, что применение подходов, основанных на оценке влияния коррозии грунта с помощью упрощенных решений, учитывающих лишь несколько переменных, может быть весьма опасным.

Нередко подземная коррозия связана не только с агрессивностью самого грунта, но и значительное влияние на подземные сооружения могут оказывать подземные воды.

Во-первых, подземные воды несут в себе непосредственно влагу и различные ионы, которые взаимодействуя с близлежащим пластом грунта и подземным объектом, могут провоцировать механизм электрохимической реакцией.

Во-вторых, сами подземные воды могут агрессивно воздействовать на сооружения, находящиеся в области действия этих вод, и приводить к их разрушению. Это может быть связано с воздействием на объект растворенными

солями, газами или выщелачиваем отдельных частей. Огромное практическое значение подземных вод в области коррозионного процесса имеет их воздействие на бетон.

Различают следующие виды агрессивного воздействия подземных вод на бетон: выщелачивание, углекислотное, кислотное, сульфатное, магниальное.

4.4 Коррозионные процессы и их классификация

В процессе исследования агрессивности грунтов и изучения коррозионных процессов в литературе часто встречается термин «коррозия». Для того чтобы разобраться с его значением можно привести несколько из существующих определений, так, например, согласно с горной энциклопедией [107] коррозия – это разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней (коррозионной) средой. Я.С. Садыков описывает термин «коррозия грунтов», как процесс разрушения, разъедания материалов конструкций – бетона стали железобетона, дерева и др. – под агрессивным влиянием грунтовой среды. А в технической литературе термины «коррозия металла» и «коррозия бетона» выделяют отдельно, так, коррозия металлов – это разрушение металлов вследствие химического и электрохимического взаимодействия их с внешней средой, коррозия бетона и железобетона – это их разрушение под действие агрессивной внешней среды [96]. Исходя из вышеперечисленных определений, можно сделать вывод о том, что коррозия является последствием воздействия агрессивных грунтов на материалы, из которых состоят сооружения и конструкции.

Все коррозионные процессы классифицируются по: виду коррозионной среды, механизму коррозионного процесса, по воздействию на различные материалы, и типу разрушений.

По виду коррозионной среды выделяют газовую коррозия, атмосферную коррозия и подземную коррозия [90]. Поскольку агрессивность грунтов является причиной развития подземной коррозии, рассмотрим данный вид

коррозионной среды поподробнее.

Подземная коррозия — это коррозия в грунтах, вызываемая коррозионными элементами, возникающими на металле и бетонных материалах в местах их соприкосновения с агрессивной средой вследствие неоднородности металла сооружения, различия температур, влажности и воздухопроницаемости грунта, а также в связи особенности состава грунта на различных участках сооружения [90].

Изучение подземной коррозии имеет первостепенную важность. Например, в США при общей протяженности подземных трубопроводов более 16 млн. км., затраты на ремонт и замену оборудования составляют порядка нескольких сотен миллионов долларов.

Стойкость различных подземных бетонных и металлических материалов различна вследствие специфического колебания химического состава грунтов. Например, срок службы чугунных водопроводных труб Новой Англии составляет примерно 50 лет, тогда как такие же трубы в более агрессивном грунте южного района Калифорнии служат всего лишь в течение 20 лет [108]. Это обуславливает необходимость изучения химического состава грунтов при оценке степени проявления коррозионных процессов.

По механизму коррозионного процесса подземная коррозия, в частности, подразделяется на электрохимическую коррозию и химическую коррозию [89].

Под электрохимической коррозией понимают процесс взаимодействия материала с коррозионной средой (раствором электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала. Данный вид коррозии определяют в основном для углеродистой и низколегированной стали.

Под химической коррозией подразумевают процесс взаимодействия материала с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительного компонента среды протекают одновременно в

одном акте. Определение химической коррозии производят в основном для свинцовой оболочки кабеля, для алюминиевой оболочки кабеля, а также для бетона [109].

По воздействию на различные материалы подземная коррозия подразделяется на коррозию свинцовой и алюминиевой оболочки кабеля, коррозию углеродистой и низколегированной стали, а также коррозию бетона и железобетонных конструкций [89]. Для каждого характерен определенный набор электрохимических условий или химических элементов в определенной концентрации влияющий на степень развития коррозионных процессов.

Поскольку *свинец* является материалом с повышенной химической стойкостью, которая обуславливается небольшой растворимостью его соединений, он получил широкое применение как материал для оболочек подземных электрических кабелей.

Наиболее устойчивым к развитию коррозионных процессов свинец является в нейтральных, малогумусных грунтах, содержащих сульфаты и карбонаты, которые защищают свинец от разрушения только при нейтральной реакции грунта [96].

Весьма неустойчив свинец как в грунтах, содержащих соли азотной кислоты, при взаимодействии с которыми он образует хорошо растворимую азотнокислую соль свинца, так и в грунтах, имеющих щелочную реакцию. В последних свинцовая оболочка сильно корродирует за счет образования плюмбатов, которые являются хорошо растворимыми соединениями (таблица 4.2).

Рассматривая коррозионное влияние на свинец различных типов почв необходимо выделить черноземные почвы, чье коррозионное действие усиливается за счет высокого содержания органических кислот и азотистых соединений и насыщенные разнообразными органическими кислотами болотные и торфяные грунты, где свинец разрушается, образуя легко растворимые соединения [96].

Таблица 4.2 – Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к свинцовой оболочке кабеля [25]

Коррозионная агрессивность грунта	Значение pH	Массовая доля компонентов, % от массы воздушно-сухой пробы	
		Органическое вещество (гумус)	Нитрат-ион
Низкая	От 6,5 до 7,5 включ.	До 0,01 включ.	До 0,0001 включ.
Средняя	От 5,0 до 6,5 включ. » 7,5 » 9,0	От 0,01 до 0,02 включ.	От 0,0001 до 0,001 включ.
Высокая	До 5,0 Св. 9,0	Св. 0,02	Св. 0,001

Коррозийность *алюминия* незначительна в сухих песчаных, или каких-либо других хорошо аэрируемых грунтах, что связано с образованием пленки окиси алюминия на поверхности металла, которая предохраняет его от разрушения. Кроме того, наименьшее развитие коррозии алюминия наблюдается в условиях нейтральной среды, где чаще всего встречаются бикарбонаты, сульфаты нитраты, защищающие металл от разрушений так же посредством образования защитной окисной пленки [96].

Амфотерность алюминия, т.е. способность в зависимости от реакции среды проявлять то металлические, то неметаллические свойства является одним из решающих особенностей при развитии коррозии. Так, кислой среде алюминий реагирует как основание и образует растворимые соли, а в щелочной среде он ведет себя как кислотный остаток, и также образует хорошо растворимые и легко выщелачиваемые алюминаты. Не только в кислой или щелочной средах происходит коррозия алюминия, но и в нейтральной при разрушительном воздействии хлоридов за счет образования легко растворимых соединений. Менее агрессивны по отношению к алюминию грунты ведут себя при значении pH среды 7,5 - 8, при которых коррозия алюминия развивается из отдельных центров за счет неоднородной окисной пленки (таблица 4.3).

В целом к наиболее агрессивным типам грунтов по отношению к алюминию относятся илистый гумусный грунт, затем в порядке убывания коррозионной активности идут щелочной грунт, суглинок, и торфяной и болотный грунт со значением pH среды менее 4 [96].

Таблица 4.3 – Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к алюминиевой оболочке кабеля [25]

Коррозионная агрессивность грунта	Значение pH	Массовая доля компонентов, % от массы воздушно-сухой пробы	
		Хлорид-ион	Ион железа
Низкая	От 6,0 до 7,5 включ.	До 0,001 включ.	До 0,002 включ.
Средняя	От 4,5 до 6,0 включ. » 7,5 » 8,5 »	От 0,001 до 0,005 включ.	От 0,002 до 0,01 включ.
Высокая	До 4,5 Св. 8,5	Св. 0,005	Св. 0,01

Коррозия, как железа, так и его сплава с углеродом, *стали*, в грунте происходит в результате растворения ионов железа, которое сводится к минимуму в щелочном грунте (При pH=7-14), где образуется устойчивая защитная пленка. Она возникает в результате уменьшения скорости протекания окислительно-восстановительной реакции стали с окружающей средой за счет замедления восстановления O₂ из H₂O [96].

Окислительно-восстановительная реакция, которая лежит в основе коррозионных процессов является следствием электрохимической коррозии, механизм которой заключается в возникновении в какой-либо части стальной конструкции коррозионного элемента ($Fe^0 \Rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$), который обладает более отрицательным потенциалом по сравнению с некорродированными участками, в результате чего между участками возникает разность потенциалов, где первый является анодом, а второй – катодом. При влиянии техногенных электрических полей на данных участках происходит увеличение разности потенциалов, вследствие чего на анодных участках происходит разрушение металла из-за перехода его ионов в электролит, а на катоде, где происходит процесс деполяризации, металл не только не разрушается, но и защищен от коррозии. Поскольку процессы, происходящие на анодных и катодных участках взаимосвязаны, то при увеличении плотности катодного тока происходит усиление развития коррозионных процессов на анодных участках [110].

Для развития коррозии металлов в грунтах также важное значение имеет величина электрического сопротивления во внешней цепи, которое в грунтах характеризуется удельным электрическим сопротивлением, уменьшение значения которого соответствует увеличению прохождения электрического тока через него, а соответственно, и увеличению развития коррозионных процессов на стальной конструкции (таблица 4.4) [110]

Таблица 4.4 – Коррозионная агрессивность грунта по отношению к углеродистой и низколегированной стали [25]

Коррозионная агрессивность грунта	Удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м	Средняя плотность катодного тока, А/м ²
Низкая	Св. 50	До 0,05 включ.
Средняя	От 20 до 50 включ.	От 0,05 до 0,20 включ.
Высокая	До 20	Св. 0,20

Наименьшее распространение коррозии стали наблюдается при нормальной температуре и полном отсутствии влаги, т.е. в проветриваемых и сыпучих грунтах, но даже в таких грунтах коррозионная активность стали существует. Она сосредотачивается в отдельных точках и на поверхности трубы возникают язвы, пятна, и другие виды местной коррозии [96].

Коррозия *бетона* подразделяется на три основных вида по В.М. Московину [91]. Так, к первому виду он относит все процессы коррозии, которые возникают в бетоне при воздействии жидких сред, и способны растворять компоненты цементного камня. К данным процессам относятся не только свободное омывание бетона водой, но и воздействие на бетонные сооружения почвенных, или грунтовых растворов. Коррозия бетона данного вида вызывается последовательным выщелачиванием сначала наиболее растворимого минерала цементного камня портландита ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) сульфатами, хлоридами и едкими щелочами (таблицы. 4.5, 4.6, 4.7), а затем с понижением в растворе концентрации CaO и других составляющих цементного камня, выщелачивание гидросиликатов и гидроалюминатов. Присутствие же в грунтах таких ионов

как Ca^{2+} и OH^- наоборот, снижают растворимость портландида [91].

Ко второму виду коррозии бетона относятся процессы, при которых происходят обменные реакции между компонентами цементного камня и агрессивной среды, образующиеся компоненты которых либо легко растворимы и выносятся из структуры путем фильтрации или диффузии, либо отлагаются в виде аморфной массы, не влияющей на дальнейший разрушительный процесс [91].

Таблица 4.5 – Степень агрессивного воздействия хлоридов в грунтах на арматуру в железобетонных конструкциях [111]

Показатель агрессивности грунта с содержанием хлоридов, мг/кг, для бетонов марок по водонепроницаемости			Степень агрессивного воздействия грунта на арматуру в бетоне
W4-W6	W8	W10-W14	
Св. 250 до 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 7500	Слабоагрессивная
Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 7500	Св. 7500 до 10000	Среднеагрессивная
Св. 1000	Св. 7500	Св. 10000	Сильноагрессивная

К коррозии второго рода относится коррозия, развивающаяся под влиянием углекислых сред (таблица 4.6), вызывающая разрушение карбонатной пленки бетона. К данному роду относится также магниальная коррозия, вызываемая солями магния, которые вступают в обменную реакцию с портландитом, в процессе которой гидроксид магния выпадает в осадок в порах и трещинах бетонной конструкции. В результате этого цементный раствор становится мягким и распадается, образуя твердые зернистые частицы, которые выносятся раствором, причем образующийся при этом сернокислый кальций также оказывает значительное коррозионное воздействие на бетон. Сюда же относится аммоний коррозия бетона, которая возникает в результате его взаимодействия с растворами солей аммония (таблица 4.6), которые имеют разрушающее воздействие относительно материалов, содержащих известь [91].

Таблица 4.6 – Степень агрессивного воздействия жидких неорганических сред на бетон [111]

Показатель агрессивности	Показатель агрессивности для сооружений, расположенных в грунтах при марке бетона по водонепроницаемости				Степень агрессивного воздействия на бетон
	W4	W6	W8	W10-W12	
Бикарбонатная щелочность HCO_3^- , мг-экв/дм ³	Св. 0 до 1,05	-	-	-	Слабоагрессивная
Водородный показатель pH	Св. 5,0 до 6,5	Св. 4,0 до 5,0	Св. 3,5 до 4,0	Св. 3,0 до 3,5	То же
	Св. 4,0 до 5,0	Св. 3,5 до 4,0	Св. 3,0 до 3,5	Св. 2,5 до 3,0	Среднеагрессивная
	Св. 0 до 4,0	Св. 0 до 3,5	Св. 0 до 3,0	Св. 0 до 2,0	Сильноагрессивная
Содержание агрессивной углекислоты CO_3^{2-} , мг/дм ³	Св. 15 до 40	Св. 40 до 100	Св. 100	-	Слабоагрессивная
	Св. 40 до 100	Св. 100	-	-	Среднеагрессивная
Содержание солей магния, мг/дм ³ , в пересчете на ион Mg^{2+}	Св. 1000 до 2000	Св. 2000 до 3000	Св. 3000 до 4000	Св. 4000 до 5000	Слабоагрессивная
	Св. 2000 до 3000	Св. 3000 до 4000	Св. 4000 до 5000	Св. 5000 до 6000	Среднеагрессивная
	Св. 3000	Св. 4000	Св. 5000	Св. 6000	Сильноагрессивная
Содержание солей аммония, мг/дм ³ , в пересчете на ион NH_4^+	Св. 100 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1000	-	Слабоагрессивная
	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1500	-	Среднеагрессивная
	Св. 800	Св. 1000	Св. 1500	-	Сильноагрессивная
Содержание едких щелочей, мг/дм ³ , в пересчете на ионы Na^+ и K^+	Св. 50000 до 60000	Св. 60000 до 80000	Св. 80000 до 100000	-	Слабоагрессивная
	Св. 60000 до 80000	Св. 80000 до 100000	Св. 100000 до 150000	-	Среднеагрессивная
	Св. 80000	Св. 100000	Св. 150000	-	Сильноагрессивная
Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей, мг/дм ³	Св. 10000 до 20000	Св. 20000 до 50000	Св. 50000 до 60000	-	Слабоагрессивная
	Св. 20000 до 50000	Св. 50000 до 60000	Св. 60000 до 70000	-	Среднеагрессивная
	Св. 50000	Св. 60000	Св. 70000	-	Сильноагрессивная

Третий вид коррозии включает процессы, при развитии которых в порах бетона происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции, которые создают внутреннее напряжение в бетоне,

повреждающееструктуру бетона. К этому виду коррозии относится коррозия под действием сульфатов (таблица 4.7), где разрушение происходит в результате роста кристалловгидросульфоалюмината кальция. Подобный вид коррозии бетона часто встречается в грунтах переменным уровнем грунтовых вод или при соприкосновении бетонных конструкций с периодически увлажняемыми засоленными грунтами [91].

Таблица 4.7 – Степень агрессивного воздействия сульфатов в грунтах на бетоны марок по водонепроницаемости W4-W20 [111]

Цемент	Показатель агрессивности грунта с содержанием сульфатов в пересчете на ионыSO ₄ ²⁻ , мг/кг					Степень агрессивного воздействия грунта на бетон
	W4	W6	W8	W10-W14	W16-W20	
Портландцемент по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108	500-1000	Св. 1500	Св. 2000	Св. 3000	Св. 4000	Слабоагрессивная
	1000-1500	Св. 2000	Св. 3000	Св. 4000	Св. 5000	Среднеагрессивная
	Св. 1500	Св. 2000	Св. 3000	Св. 4000	Св. 5000	Сильноагрессивная
Портландцемент по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 с содержанием в клинкере С S не более 65%, С А - не более 7%, С А+С AF - не более 22% и шлакопортландцемент	3000-4000	Св. 5000	Св. 8000	Св. 10000	Св. 12000	Слабоагрессивная
	4000-5000	Св. 8000	Св. 10000	Св. 12000	Св. 15000	Среднеагрессивная
	Св. 5000	Св. 8000	Св. 10000	Св. 12000	Св. 15000	Сильноагрессивная
Сульфатостойкие цементы по ГОСТ 22266	6000-8000	Св. 10000	Св. 12000	Св. 15000	Св. 20000	Слабоагрессивная
	8000-10000	Св. 12000	Св. 15000	Св. 20000	Св. 24000	Среднеагрессивная
	Св. 10000	Св. 12000	Св. 15000	Св. 20000	Св. 24000	Сильноагрессивная

К коррозии второго вида приводят также кислотные и щелочные растворы (таблица 4.6), которые воздействуя с одним из составных частей бетона – опаловидным кремнеземом образуют гель щелочного силиката кремния, способного расширяться, и тем самым приводить к растрескиванию бетона [95]. Классификация коррозионных процессов по типу разрушений (рисунок 4.7) производится на основе анализа площади и характера распространения коррозионных процессов [90].

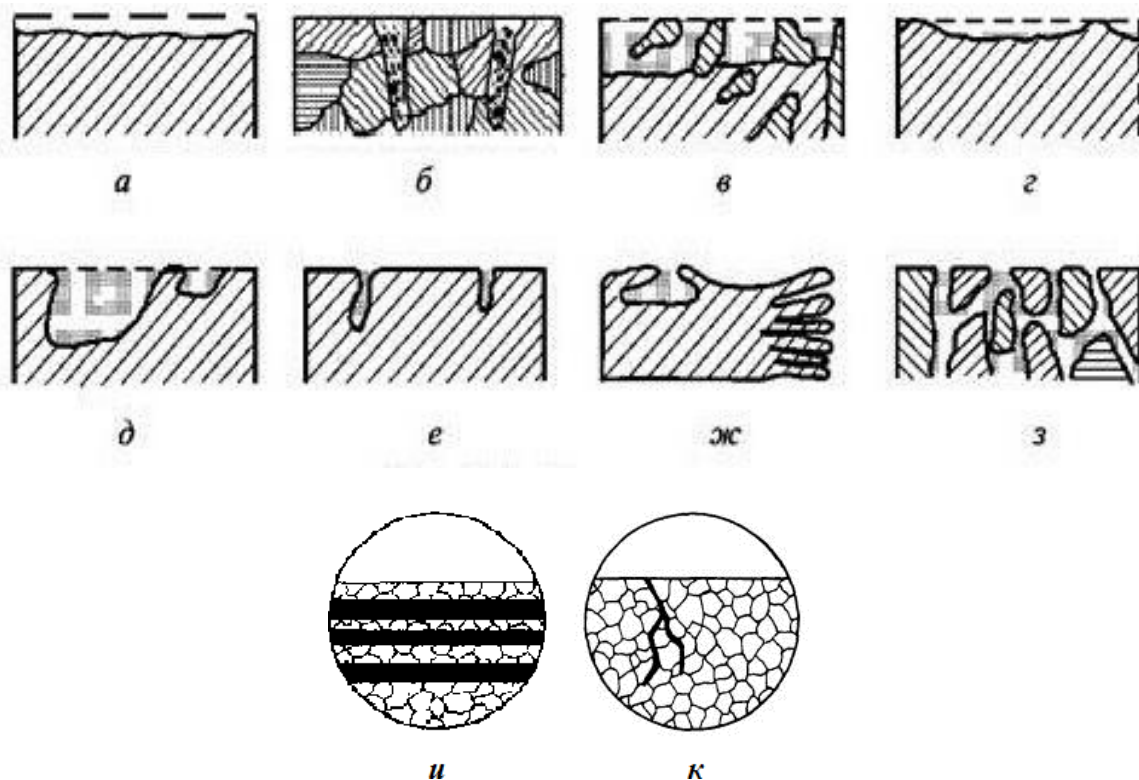


Рисунок 4.7 – Коррозия по типу разрушения [112]:

а – сплошная, *б* – транскристаллитная, *в* – избирательная, *г* – коррозия пятнами, *д* – коррозионная язва, *е* – питтинговая, *ж* – подповерхностная, *з* – межкристаллитная, *и* – слоевая, *к* – коррозия в виде редких трещин.

Наиболее простым и несущим наименьший материальный ущерб видом коррозионного процесса является сплошная коррозия (рисунок 4.7 а). Она охватывает всю поверхность металла, которая находится под воздействием коррозионной среды, и подразделяется на равномерную, если по всей поверхности процесс протекает с одинаковой скоростью, и неравномерную, если скорость процесса неодинакова на различных участках поверхности [113].

Транскристаллитная коррозия (рисунок 4.7 б) – это коррозионное поражение, которому характерно наличие большого количества транскристаллитных трещен. Данный вид возникает в результате появления коррозии под напряжением, например, в результате воздействия сульфат-ионов на бетон с образованием сульфоалюмината кальция.

При избирательной коррозии (рисунок 4.7 в) происходит разрушение одной структурной составляющей или одного компонента сплава, например, отдельных зерен материала, физическое состояние которых изменилось вследствие деформации металла.

К коррозии пятнами (рисунок 4.7 г) относятся мелкие по глубине коррозионное поражение неправильной формы, размер которых в случае небольшого увеличения может превышать размера поля зрения [112].

Коррозионная язва (рисунок 4.7 д) характеризуется как местное коррозионно-разрушение, глубина которого приблизительно равна ширине. Она возникает в том случае, когда на поверхности металлов имеется защитная покрывная пленка с местными дефектами и повреждениями, необходимыми для осуществления химических превращений в окислительно-восстановительных системах [114].

В отличие от коррозионной язвы, питтинговая коррозия (рисунок 4.8 е) характеризуется как коррозионное поражение, глубина которого намного больше ширины. Питтинги возникают главным образом в защитном слое по местам различных дефектов, к которым относятся поры, микровключения, трещины от внутреннего напряжения, и др. [90].

Подповерхностная коррозия (рисунок 4.8 ж) начинается на поверхности, но затем распространяется в глубине металла, в результате чего продукты коррозии оказываются сосредоточенными в полостях металла. Этот вид коррозии вызывает вспучивание и расслоение металлических изделий, которому в большей мере подвержены алюминиевые сплавы.

Межкристаллитная коррозия (рисунок 4.8 з) характеризуется разрушением металла по границам зерен. Она особенно опасна тем, что внешний вид

металл не меняется, но он быстро теряет прочность и пластичность и легко разрушается, что связано с образованием между зернами рыхлых малопрочных продуктов коррозии. Этому виду разрушений особенно подвержены хромистые и хромоникелевые стали, никелевые и алюминиевые сплавы [115].

Слоевой коррозией (рисунок 4.8 и) называют коррозионное поражение, внутренние слои которого включают зерна размера, различные фазы, включения, выделения. Примером возникновения данного типа коррозии являются алюминиевые буровые трубы, которые при наличии сильнокислой среды подвергаются развитию слоевой коррозии.

Коррозия в виде редких трещин (рисунок 4.7 к) характеризуется образованием трещин различной глубины и различной степени ветвистости в результате развития коррозионных процессов [112].

4.5 Биокоррозия

Как уже отмечалось ранее в главе 4.3, одним из факторов возникновения подземной коррозии является деятельность микроорганизмов. Отмечается значительную роль бактерий в процессах разрушения металлоконструкций и других подземных сооружений. Непосредственно поэтому биокоррозия выделяется как один из видов подземной коррозии.

Воздействие микроорганизмов на металлы может происходить различными способами. Главным образом, коррозию могут спровоцировать агрессивные продукты отходов, диапазон рН которых очень широк, а также ферменты и др. Данные вещества способствуют образованию коррозионноактивной среды, в которой при наличии воды протекает коррозия по стандартным электрохимическим законам.

Колонии микроорганизмов могут образовывать на поверхности металлических конструкций слизистые скопления и наросты мицелия, на границе с металлом которых за счет разности электрических потенциалов на разных участках поверхности металла и ассимиляции ионов металлов самими микроорганизмами может развиваться язвенная коррозия [116].

4.5.1 Бактериальная коррозия

Основа жизнедеятельности бактерий, как и прочих организмов включает в себя конструктивные и энергетические процессы. При конструктивных процессах – углеродосодержащие вещества, получаемые из внешней среды, перерабатываются и превращаются в строительные вещества тела под действием восстановительных реакций, проходящих с энергетическими затратами. Необходимая энергия извлекается в ходе энергетических окислительных процессов. Бактерии для этих двух процессов используют как органическую, так и неорганическую материю.

Неорганические вещества участвуют в энергетических процессах, как окисляемые субстраты, так и окислители. Когда окислителем является кислород, то данный процесс называется аэробным. Если окислитель – органическое или неорганическое, соединение, процесс анаэробный. В микробный метаболизм вовлекаются соединения: углерода, серы, азота, железа, хрома, хлора, молибдена, сурьмы, молекулярный водород [117]. Бактериальная коррозия протекает при температуре 6...40 °С при рН = 1 10,5.

Коррозионное разрушение материала напрямую (или косвенно) связано с жизнедеятельностью бактерий: на поверхности материала или в растворе создаются химические соединения, благоприятные для коррозии; электрохимические потенциалы среды изменяются по причине изменения концентрации кислорода в растворе [116]

Микроорганизмы очень легко размножаются, а также быстро приспосабливаются к изменяющимся условиям среды. Это объясняется способностью бактерии образовывать ферменты, необходимые для трансформации питательных сред.

Среди бактерий, вызывающих коррозию металлов, в основном распространены сульфатвосстанавливающие бактерии; тионовые бактерии; железобактерии.

Сульфатредуцирующие бактерии анаэробны и являются причиной биокоррозии. Они могут превращать сульфатные соединения металлов в сульфиды,

образующиеся при реакции выделяющегося в данном процессе сероводорода с металлами.

Тионовые бактерии способны окислять сульфиды и прочие восстановленные соединения серы до сульфатов. Реакция окисления сульфидов при помощи бактерий способна проходить в миллионы раз быстрее реакции обычного химического окисления. В итоге, в значительных количествах и довольно быстро образовывается серная кислота, которая создает агрессивную коррозионную среду [118].

Железобактерии возбуждают коррозию металлических сооружений, контактирующих с водой. В местах сварных швов и других поверхностях металла железобактерии образуют слизистые скопления, не смываемые течением воды и воздухом насыщенных жидкостей. Под ними возникают слабо аэрируемые участки, имеющие более низкий потенциал, в последующем выступающие в качестве анода. В анодной зоне железо растворяется, и происходит коррозия [116,119].

В процессе коррозии участвуют бактерии многих видов, крайне редко встречаются случаи биокоррозии с участием бактерий одного вида. Часто анаэробные условия создаются жизнедеятельностью аэробных бактерий. При аэрации почвы восстанавливающие бактерии погибают, а окисляющие – размножаются. В биоценозе аэробные бактерии и анаэробные почти всегда существуют совместно. Наиболее сильная коррозия наблюдается в болотистой местности с $\text{pH}=6,8\dots 7,8$, наполненных органическими остатками с пониженным содержанием кислорода.

При подземной коррозии труб и повреждениях изоляционных покрытий существенное участие принимают именно бактерии.

4.5.2. Грибная (микологическая) коррозия

Это разрушение строительных материалов, металлов и металлических покрытий при воздействии агрессивных сред, которые сформировались в результате жизнедеятельности грибов.

Грибная коррозия – частный случай биоразрушения материалов конструкций в специфических условиях эксплуатации. Тема повреждения металлов грибами до сих пор изучена слабо, так как до недавнего момента считалось, что биологические повреждения металлов вызываются только бактериями [120-122].

Однако микологическая коррозия металлов имеет место быть и в некоторых случаях наносит вред металлическим конструкциям не меньше, чем бактериальная [116].

Грибная коррозия характерна для атмосферных и почвенных условий, в местах с ограниченным воздухообменом, где создаются благоприятные температурно-влажностные условия [118]. Стоит отметить, что грибная коррозия более характерна для бетона, который представляет капиллярно-пористое тело, что позволяет мицелию легко поселяться на поверхности и распространяться вглубь.

В отличие от бактерий грибы напрямую коррозию не вызывают. Разрушается поверхность в процессе деятельности гриба на негрибостойких материалах. Они сдерживают на поверхности металлов влагу и выделяют органические кислоты, тем самым развивают процесс коррозии деталей из латуни, меди, стали, алюминия и его сплавов [123].

Продукты микробиологической коррозии, а также мицелий грибов, создающий связи между металлическими контактами изделий, содействуют появлению электролитов на поверхности контактов и приводят к созданию гальванического элемента или к ухудшению электрических параметров изделий [116].

Причиной поразительной всеядности грибов является наличие ферментного аппарата, вырабатывающего ферменты или – вещества белковой природы, которые являются эффективными катализаторами разнообразных химических процессов.

Грибы обладают всеми группами известных в настоящее время ферментов, поэтому они разрушают практически все органические тела, на которые попадают их споры.

Микологическую коррозию можно разделить на 4 стадии:

1. прораствание спор или вегетативных элементов гриба;
2. формирование мицелия с последующим развитием визуально наблюдаемых колоний гриба;
3. развитие коррозионных процессов; разрушение полимеров под действием гидролаз и оксидоредуктаз; появление градиентов концентрации кислорода – акцептора электронов;
4. обильное спорообразование грибов; локальные или сплошные повреждения резко выражены [116].

Продукты микробиологической коррозии, а также мицелий грибов, создающий связи между металлическими контактами изделий, содействуют появлению электролитов на поверхности контактов и приводят к созданию гальванического элемента или к ухудшению электрических параметров изделий

Таким образом мы можем говорить, что при оценке агрессивности грунта важно учитывать не только его свойства, но и влияние бактерий и грибов.

5 Оценка коррозионных свойств грунтов

Для выявления зависимости УЭС от состава и физических свойств проводилось обобщение и анализ фактических данных по месторождениям Чупальское, Восточно-Сургутское, Среднебалыкское, Петелинское, Мамонтовское: 70% грунтов представлены суглинками, 18 % - глины, супеси - 12% от общего объема изучаемых грунтов (рисунок 5.1). Таким образом, наибольшее распространение имеют суглинки.

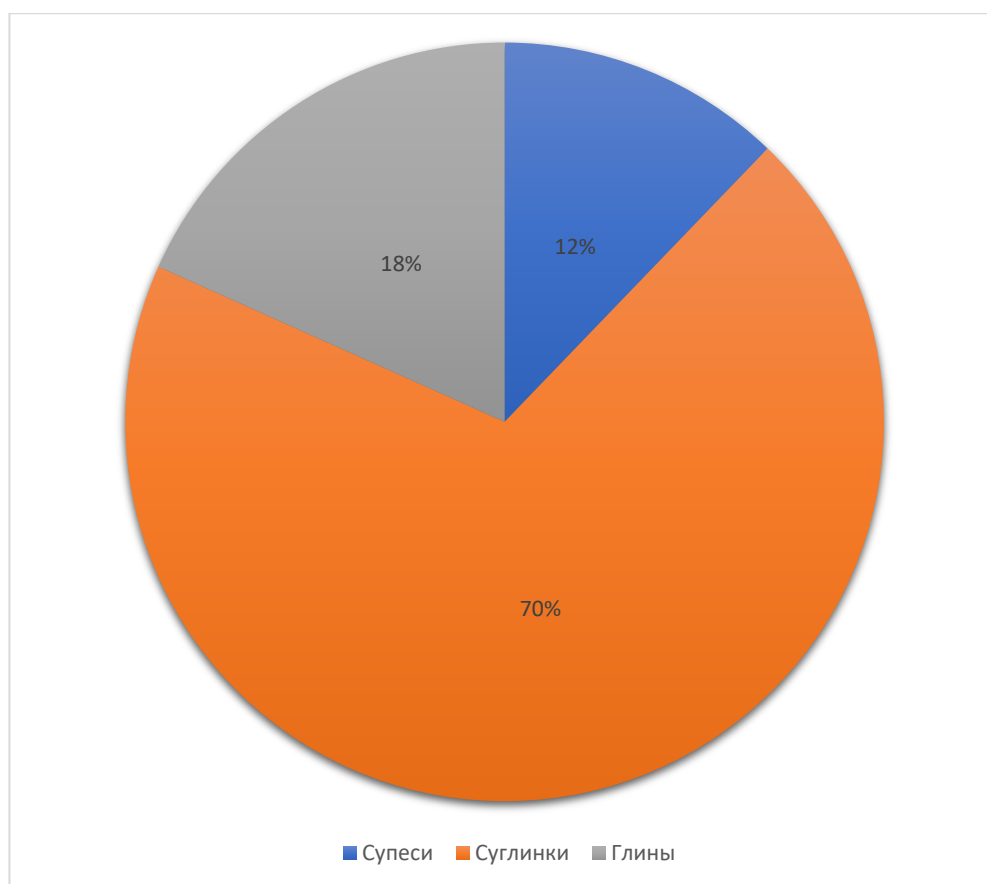


Рисунок 5.1 – Видовой состав изучаемых грунтов

На рисунке 5.2 представлено изменение УЭС, в зависимости от разновидности грунта. Согласно полученным данным, суглинистые грунты относятся к грунтам с низким и средним значением коррозионной агрессивности грунта (удельное электрическое сопротивление составляет от 27 до 54 Ом*м).

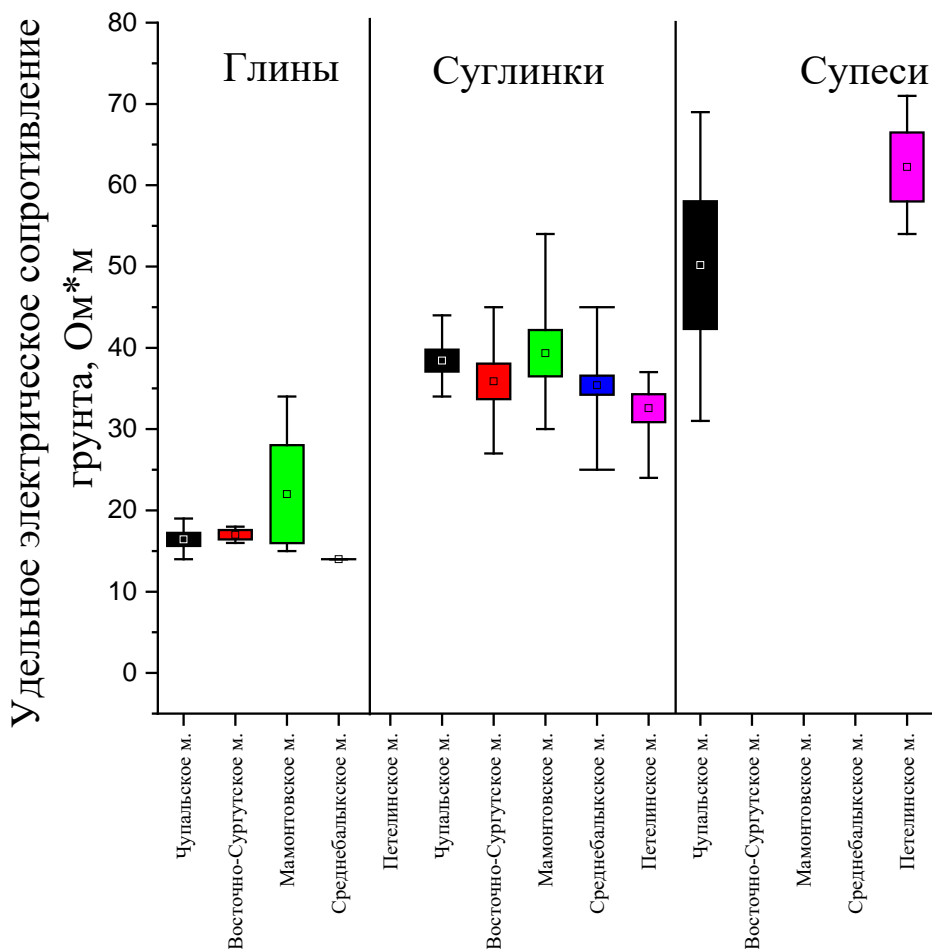


Рисунок 5.2 – Значения удельного электрического сопротивления по месторождениям

Наибольшее значение коррозионной активности характерно для глин месторождений Чупальское Восточно-Сургутское и Среднебалыкское (ЭУС изменяется от 14 до 20 Ом*м), супеси характеризуются низкой агрессивностью – УЭС изменяется в пределах от 42 до 65 Ом*м (месторождение Чупальское и Петелинское).

Коррозионная активность зависит от состава грунтов, в большей степени от процентного содержания глинистой фракции. Глинистые частицы имеют большую удельную поверхность, что позволяет удерживать влагу в большей степени, при этом большое содержание глинистых частиц будет говорить о плотном сложении грунта и уменьшении степени его аэрации.

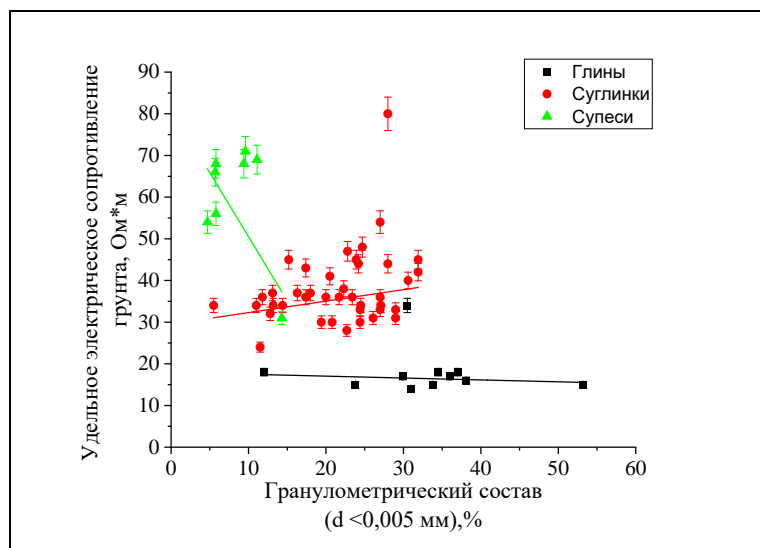


Рисунок 5.3 – График зависимости УЭС от содержания глинистых частиц

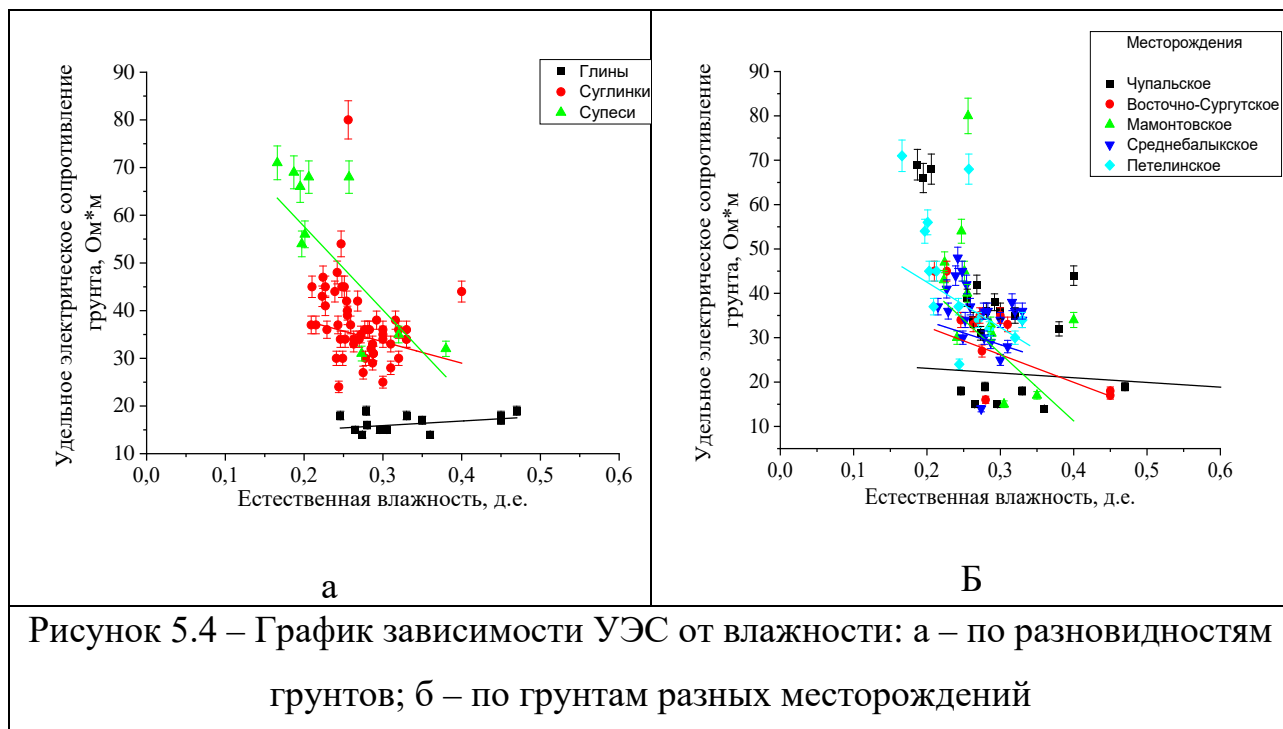
Из данных, представленных на рисунке 5.3 установлено, что увеличение доли частиц диаметром менее 0,005 приводит к уменьшению УЭС. Высокая агрессивность грунтов наблюдается в глинистых грунтах при содержании частиц диаметром менее 0,005 мм в диапазонах от 20 до 40 %. В суглинистых грунтах агрессивность грунтов в целом характеризуется как средняя при содержании глинистых частиц от 10 -30 %. Супесчаные грунты имеют на наибольшее значения УЭС при минимальных содержаниях глинистых частиц. Соответственно увеличение содержания глинистых частиц может способствовать возрастанию агрессивности грунта.

Далее рассматривали взаимосвязь удельного электрического сопротивления грунта от его влажности. От данного фактора зависит электропроводность тонкодисперсных пород, а формирование ионно-солевого состава грунтов, непосредственно влияющего на скорость коррозии металлов, связано с промывным режимом почв и грунтов.

Агрессивность грунтов, а также его качественный и количественный показатель удельное электрическое сопротивление, зависят от свойств грунтов.

Выявлена зависимость удельного сопротивления грунтов от различных их физических характеристик, прежде всего таких как влажность, гранулометрический состав, содержание органического вещества и коэффициент пористости.

Из данных, представленных на рисунке 5.4, установлено, что наименьшие значения удельного сопротивления грунтов прослеживается при влажности от 20 до 40 процентов у глинистых грунтов, у суглинистых – от 20 до 35 процентов. В супесчаных грунтах – наименьшие значения грунтов характерны для грунтов с влажностью от 20 процентов.



Исходя из полученных данных, можно сказать, что прослеживается связь между удельным сопротивлением и естественной влажностью (от 20-30 %). Увеличение влажности приводит к возрастанию коррозионной агрессивности грунта. Однако при полном водонасыщении наблюдается уменьшение коррозионной агрессивности грунта, так как чрезмерная влажность замедляет процесс коррозии из-за недостаточного притока кислорода к поверхности металла. Таким образом, влажность регулирует аэрацию грунтов и поступление кислорода к металлу для протекания электрохимической реакции.

Важно отметить, что влажность грунтов, прежде всего определяется климатическими факторами, наибольшая наблюдается при весеннем таянии снега и обильных дождях. Так из графика 5.4 б видно, что наибольшей влажностью обладают грунты, отобранные весной и осенью с месторождений Чупальское (май), Восточно-Сургутское и Мамонтовское (ноябрь).

Также на водной режим грунтов всех месторождений влияния оказывают торфа, распространенные на территориях исследований. Они формируют дополнительное увлажнение ниже лежащих пластов грунта болотными водами, которые имеют кислую реакцию среды из-за трудноразлагаемого органического вещества, в результате чего воды насыщаются ионами водорода после разложения кислых продуктов органики.

Учитывая природные условия, в которых сформировались исследуемые грунты, кислый характер органического вещества, промывной режим, и как следствие высокое содержание ионов в поровой воде, можно говорить о том, что все эти факторы будут способствовать тому, что коррозионная агрессивность грунтов будет возрастать. И скорость коррозии, а также УЭС будут изменяться в зависимости от сезона года.

Проанализировав данные с рисунка 5.5, отметили что исследуемые грунты в среднем содержат от 2 до 5 % органического вещества, супеси – до 2,5 %. С увеличением содержания органического вещества в глинах и суглинках наблюдается незначительное уменьшение удельного электрического сопротивления.

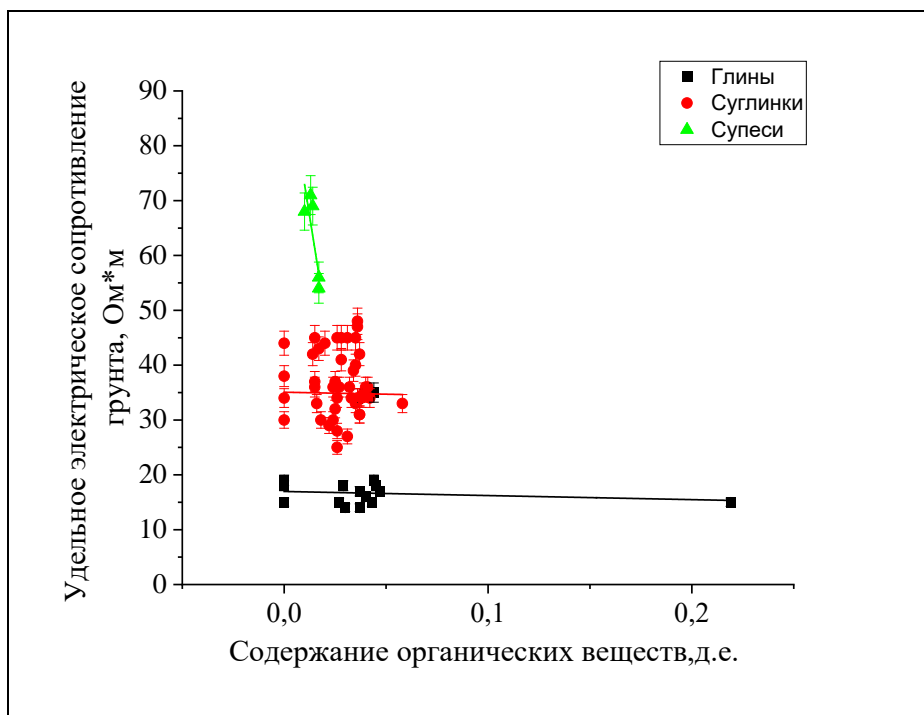


Рисунок 5.5 – Зависимость УЭС от содержания органических веществ

Наиболее ярко эта взаимосвязь наблюдается в супесях. Важно отметить, что органика может так же иметь косвенное влияние на процессы коррозии в грунтах, так как выступает питанием для бактерий, которые высвобождают различные ионы, способствующие процессу электрохимической реакции.

На рисунке 5.6 представлен график изменения удельного электрического сопротивления от коэффициента пористости. С увеличением коэффициента пористости незначительно снижается УЭС исследуемых грунтов. Это связано скорее всего с тем, что увеличение пористости грунта будет способствовать большему проникновению кислорода, который может усилить скорость электрохимической реакции при взаимодействии с влагой грунта.

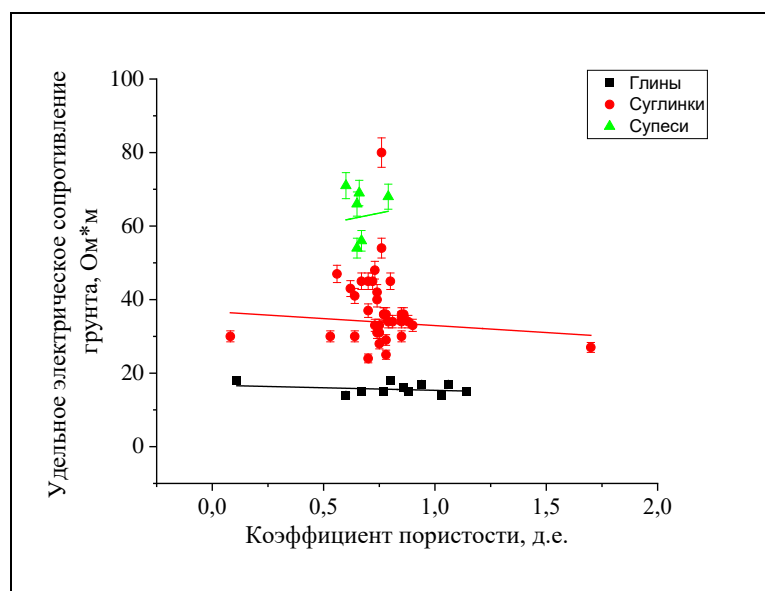


Рисунок 5.5 – Зависимость УЭС от коэффициента пористости

Изучив влияние различных физических параметров и гранулометрического состава на изменения показателя коррозии грунтов – удельного электрического сопротивления, важно также учитывать роль микроорганизмов в этих процессах.

С целью исследования установления качественного и количественного состава агрессивных микроорганизмов, которые активно могут воздействовать на коррозионные процессы подземных сооружений, был определен микробиологический состав грунта на глубине 1,0-2,0 м. Согласно ГОСТ 25100-2020 грунт относится к глине легкой пылеватой мягкопластичной консистенции с

содержанием органического вещества и влажностью 29 %. В данном грунте выявлены следующие микробиологические группы, представленные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Микробиологический состав исследуемого грунта

Физиологические группы бактерий	Количество клеток в 1 мл вытяжки	Примечание
Психрофильные сапрофиты	4000560	Преобладают споровые формы бактерий
Олиготрофы	8550000	Очень мелкие колонии
Железоокисляющие бактерии	10 ⁴ /3 балла	
Сульфатовосстанавливающие бактерии	10 ³ /15 баллов	
Тионовые	10 ³ /3 балла	
Азотфиксирующие	10 ² /3 балла	
Аммонифицирующие	10 ¹ /2 балла	
Нитрифицирующие	10 ⁰ /2 балла	
Денитрифицирующие	10 ⁵ /2 балла	
Нефтеокисляющие	2200 кл/мл	

Таким образом, в изучаемой пробе грунта были выявлены основные группы, которые непосредственно участвуют в процессах биокоррозии: сапрофиты и олиготрофы, железоокисляющие бактерии, СВБ, тионовые, нефтеокисляющие, аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие и азотфиксирующие.

На основе анализа литературы и нормативных документов [113-121], наибольший интерес для исследования биокоррозии представляют СВБ, которые при благоприятных для них условиях, активно размножаются и выделяют продукты жизнедеятельности. Например, СВБ выделяют осадок сульфид железа, который образуя, гальваническую микропару Fe-FeS является катодом и стимулирует процесс коррозии металла. Размножаются они при отсутствии кислорода в анаэробных условиях, чаще всего в кислой среде

Количество СВБ бактерий в грунте составляет 10³ кл/мл, а в баллах оценивается как 15 баллов. То есть, содержание этих бактерий значительно выше остальных, которые были определены на микробиологическом анализе.

Для эксперимента были заложены стальные пластинки в исследуемый грунт для выявления воздействия СВБ на эти пластинки. После 7 дней были

выявлены изменения в массе пластинок, визуально пластинки стали матового цвета с небольшими пятнами желтого контура. Изменение массы пластинок представлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Масса стальных образцов (до и после воздействия биодеструкторов, в течение 7 дней)

	Номер образца	Масса пластинки до испытания, г	Массы пластинки после испытания, г	Изменение массы, г
Образцы с добавлением культуры СВБ	1	15,696	15,694	0,002
	2	16,962	16,959	0,003
Контроль	3	16,269	16,268	0,001
	4	16,529	16,528	0,001

Как видно из таблицы, наблюдается изменение массы стальных пластинок. При этом в первых двух параллельных образцах, в которые была добавлена культура СВБ изменение массы больше в 2 и 3 раза соответственно. Что говорит, об активном участии бактерий в процессах разрушение стальных пластинок, помещенных в грунт.

Таким образом, экспериментально установлено непосредственное влияние микроорганизмов, в первую очередь СВБ, на коррозионные процессы, протекающие в подземных условиях на стальных конструкций.

В этой связи, при оценке коррозионных свойств грунтов, важно учитывать непосредственное влияние биодеструкторов, на процессы разрушение подземных конструкций.

В настоящее время аварийные разливы нефти случаются достаточно часто, при этом нефть, может выступать как источник питания для различных микроорганизмов, способствуя их более активному развитию.

В этой связи, автором проведен эксперимент с добавлением 20 мл нефти в контрольные образцы, при этом зафиксировано изменение массы пластинки на 0,004-0,005 г (рисунок 5.6). Таким образом, при наличии нефти в грунтах, происходит значительное увеличение скорости биокоррозии, за счет активного размножения бактерий, вследствие увеличения питательной среды – нефти.

При проведении посева на СВБ и нефтеокисляющие бактерии, получили, что содержание СВБ остается прежним, а содержание нефтеокисляющих бактерий увеличивается (таблица 5.3).

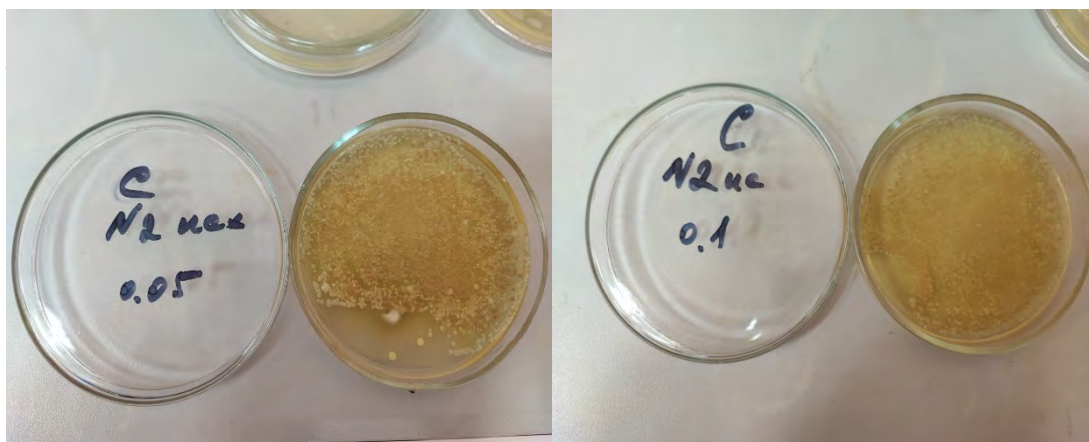


Рисунок 5.6 – Фото образцов, по которым рассчитывалось количество нефтеокисляющих бактерий.

Таблица 5.3 – Масса стальных образцов (до и после добавления нефти)

Номер образца	Масса пластинки до испытания, г	Массы пластинки после испытания, г	Изменение массы, г
3	16,268	16,264	0,004
4	16,528	16,523	0,005

Таким образом, установлено, что при оценке коррозионной активности грунтов важно учитывать не только показатели удельного электрического сопротивления, но и свойства грунтов, а также их микробиологический состав. Такая комплексная оценка позволит наиболее точно составить прогноз коррозионной активности грунтов и как следствие снизить число аварий на предприятиях нефтегазового комплекса.

6 Инженерные решения для снижения агрессивности грунтов

В ходе оценки коррозионных свойств грунтов были определены грунты с высокой коррозионной агрессивностью, для которых необходимо применять меры для снижения воздействия их на залегающие подземные конструкции.

На основании этого были выбраны наиболее распространенные методы уменьшения коррозионной активности грунтов в качестве рекомендации для решения данной проблемы. Для снижения агрессивности окружающей среды применяются следующие методы:

- 1) Применение ингибиторов коррозии, которые при добавлении в окружающую среду в небольшой концентрации эффективно снижают скорость коррозии металла, подвергающегося воздействию этой среды.
- 2) Деаэрация электролита почв для снижения концентрации растворенного кислорода воздуха как агрессивного реагента, участвующего в катодной и анодной реакциях.
- 3) Гидрофобизация путем введения веществ, делающих грунт устойчивым к воздействию воды
- 4) Нейтрализация грунта кислотами или щелочью
- 5) Обработка ядохимикатами для уменьшения опасности биокоррозии
- 6) Замена грунта на менее агрессивный

Наиболее часто применяют для снижения агрессивности грунтов ингибиторы.

Ингибиторы замедляют процесс коррозии путем:

- замедления анодной или катодной реакций;
- уменьшения перемещения или диффузии ионов к металлической поверхности.
- увеличения электрического сопротивления металлической поверхности.

В научно-технической литературе по коррозии есть списки многочисленных химических соединений, которые проявляют ингибирующие свойства. При выборе ингибитора учитывается несколько факторов: стоимость, токсичность, доступность и экологичность. Особое преимущество ингибиторов коррозии

заключается в том, что они легко наносятся, не вызывая каких-либо нарушений технологического процесса. Ингибиторы используются в широком спектре применений.

В настоящее время существует несколько типов доступных ингибиторов: *Летучие ингибиторы*, известные как ингибиторы паровой фазы. Когда молекулы ингибитора в паре вступают в контакт с поверхностью металла, ингибитор адсорбируется на поверхности металла. Затем влага гидролизует его, следовательно, могут высвободиться защитные ионы. Амины и нитриты используются для ингибирования коррозии черных металлов. Когда в системе используется черный металл, нейтрализующие амины действуют по механизму, который изменяет pH электролита и, таким образом, ингибирует образование ржавчины [1].

Пассивирующие ингибиторы, известные как анодные ингибиторы. Они обладают способностью пассивировать металлическую поверхность. Существует две категории пассивирующих ингибиторов, а именно окисляющие анионы и неокисляющие анионы. Окисляющие анионы обладают способностью пассивировать металл в отсутствие кислорода; такие как хроматы, нитриты и нитраты. Однако ингибирующее действие хромата ограничено, поскольку существует возможность локализованного воздействия, если концентрации хлоридов и сульфатов в системе возрастут до значительных значений. Неокисляющие ингибиторы, такие как фосфат, вольфрамат и молибдат, требуют кислорода для проведения пассивации. Этот вид ингибитора широко используется и обладает более высокой эффективностью, чем другие. Фосфаты осаждают тонкую адгезивную пленку в катодных местах на корродирующих металлических поверхностях и, таким образом, блокируют доступ кислорода к катодным участкам [1].

Катодные ингибиторы снижают скорость катодной реакции, а именно восстановление кислорода в почти нейтральных средах и/или выделение водорода в кислых растворах [1]. Они образуют частицы ингибитора, осаждающиеся на катодных участках и, таким образом, увеличивающие поверхностное препятствие и снижающие скорость диффузии. Ингибирующее действие катодных ингибиторов осуществляется по одному из трех механизмов:

- Катодные яды (в этом случае процесс катодного восстановления подавляется, препятствуя рекомбинации водорода; типичными типами катодных ядов являются мышьяк и сурьма);
- Катодные осадки (такие соединения, как кальций, магний, выпадают в осадок в виде оксидов, образуя защитный слой, который действует как барьер на поверхности металла);
- Поглотитель кислорода (этот механизм осуществляется путем удаления кислорода из системы для уменьшения коррозии; соединения поглотителя кислорода вступают в реакцию с кислородом в системе).

Органические ингибиторы образуют пленку на корродированной поверхности. Они образуют гидрофобный слой на поверхности металла, предотвращающий растворение металла. Эффективность этих ингибиторов зависит от их химического состава и молекулярной структуры, а также от их сродства к металлу. Они часто используются, когда принимаются во внимание экологические проблемы. Эффективность защиты органических ингибиторов объясняется главным образом наличием по меньшей мере одной полярной группы, имеющей атомы N и/или O, S, P и т.д. и действует как активный центр адсорбции на металлической поверхности [1].

Среди марок ингибитор активно применяются ингибитор СП-В, например СП-В-12К, являющийся универсальным ингибитором в случае электрохимической коррозии, или СП-В-Б-150 – биоцид широкого спектра действия.

В целом наиболее эффективным методом защиты НГК в условиях агрессивной среды грунта будет комплексное сочетание приведенных способов снижения коррозионного процесса. При этом важно будет учитывать свойства грунтов их увлажнение, гранулометрический состав, содержание органики и степень аэрации.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Перспективность и ценность научно-исследовательской работы в настоящее время оценивается не только значимостью и актуальностью в контексте рассматриваемых вопросов. Также высокую значимость имеет коммерческая ценность проводимых работ. В связи с необходимостью поиска источников финансирования, для поддержания работы в бесперебойном режиме и оценки дальнейших перспектив, оценка коммерческого потенциала работ является необходимым условием. Благодаря процедуре оценки потенциала работ появляется возможность нахождения партнеров, как коммерческих, так и среди исследователей со схожим спектром интересов. Для прогнозирования коммерческой привлекательности исследования, ученому необходимо оценить спектр экономических параметров, среди которых: спрос на продукт со стороны рынка, необходимый стартовый капитал и какое количество средств необходимо для выхода на самоокупаемость продукта, конкурентная цена, в какой момент продукт можно будет выпускать на рынок и т.д.

Учитывая вышесказанное, цель данного раздела диссертации состоит в оценке перспективности научно-исследовательской работы, факторов, приводящих её к успеху и необходимых для этого проектных решений.

В связи с этим необходимо решить следующие задачи:

- определить потенциальных потребителей результатов проведенного исследования;
- провести SWOT-анализа для выявления и оценки сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и вероятных угроз;
- выявить ограничения и допущения проекта;
- произвести расчет всех затрат, необходимых на проведение научно-исследовательского проекта, сформировать бюджета проекта.
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного

исследования;

- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- организовать работы по научному исследованию.

7.1 Предпроектный анализ

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Рассмотрение целевого рынка и его сегментирование необходимо для анализа потребителей результатов исследования. В настоящей работе исследовано применение результатов анализа коррозионных свойств грунтов в качестве решения задачи предсказания агрессивного воздействия грунта на конструкции нефтегазовых комплексов (НГК) и выбора метода защиты от коррозии. Потенциальными потребителями результатов научного исследования могут стать:

- Организации по проектным изысканиям;
- Научно-исследовательские организации, университеты;
- Ресурсодобывающие компании;
- Частные лица.

Сегментирование рынка проводится по следующим критериям: вид заказчика; вид услуги. Данные представлены в таблице 7.1.

По результату сегментирования рынка видно, что сегмент по предложению комплексных услуг, как и сегмент оценки биокоррозии мало заняты. Таким образом, целесообразно рассмотреть возможность разработки комплексного продукта, сочетающего определение физико-механических свойств грунтов и оценку биокоррозии, который, при соответствующем обосновании, должен быть интересен как ресурсодобывающим компаниям, так и проектно-изыскательным организациям.

Таблица 7.1– Карта сегментирования рынка услуг по выполнению лабораторных анализов коррозионных свойств с учетом распространения в будущем

		Вид услуги		
		Определение физико-механических свойств грунтов	Оценка биокоррозии	Комплексный продукт (инженерные изыскания)
Заказчики	Организации по проектным изысканиям			
	Научно-исследовательские организации, университеты			
	Ресурсодобывающие компании			
	Частные лица			
		Фирма А		Фирма Б
		Фирма В		Фирма Г

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Результаты исследований, проведенных в данной работе, имеют конкурентные решения в области оценки коррозионных свойств грунтов на месторождения. Для метода, рассмотренного в настоящей работе, существуют следующие конкурентные технические решения:

- применение метода геофизических исследований коррозионной активности (полевые);
- применение метода определения удельного электрического сопротивления (лабораторные методы);

Проведение оценочного сравнения эффективности научно-исследовательского проекта осуществляется посредством анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. В таблице 7.2 представлена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 7.2 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _к 1	Б _к 2	К _ф	К _к 1	К _к 2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	2	4	0,5	0,2	0,4
3. Энергоэкономичность	0,10	4	2	3	0,4	0,2	0,3
4. Надежность результатов	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
5. Безопасность проводимых работ	0,10	4	3	4	0,4	0,3	0,4
6. Простота эксплуатации	0,15	5	1	4	0,75	0,15	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
3. Цена	0,10	4	1	4	0,4	0,1	0,4
6. Финансирование научной разработки	0,10	4	2	4	0,4	0,2	0,4
Итого	1	44	25	35	4,5	2,5	3,9

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 2, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей. Позиция метода данного исследования и методов конкурентов оценивалась по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_i V_i \cdot B_i \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В результате анализа получены следующие оценки конкурентоспособности:

- рассматриваемый метод анализа коррозионных свойств грунтов (B_{ϕ} , K_{ϕ}) – 4,5;
- применение метода геофизических исследований коррозионной активности (B_{k1} , K_{k1}) – 2,5;
- применение метода определения удельного электрического сопротивления (B_{k2} , K_{k2}) – 3,9;

Результаты проведённой оценки показали, что данный научно-исследовательский проект конкурентоспособен и имеет ряд явных преимуществ.

7.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – является комплексным анализом научно-исследовательского проекта и направлен на исследование его внешней и внутренней среды. SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

На первом этапе проводится описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз реализации проекта. Полученная для настоящего проекта начальная матрица SWOT-анализа представлена в таблице 7.3.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 7.3 – Начальная матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая точность распознавания значений коррозионных свойств грунтов</p> <p>С2. Простота и малая стоимость реализации метода распознавания</p> <p>С3. Малые затраты на перенастройку системы к новым условиям работы</p> <p>С4. Распространённость и доступность объектов исследования</p> <p>С5. Экологичность проведенных исследований</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Погрешность методов анализа</p> <p>Сл2. Необходимость дополнительного обучения сотрудников</p> <p>Сл3. Необходимость периодического мониторинга изменений</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на исследования</p> <p>В2. Сокращение сроков проведения инженерных изысканий</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Увеличение времени на обучение специалистов при потере сотрудника</p> <p>У2. Развитие конкуренции</p> <p>У3. Повышение стоимости специального оборудования для проведения анализов</p>

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 7.4 Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 7.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.
	В1.	+	+	+	+	0
	В2.	+	+	+	+	+
		Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1.	Сл2.	Сл3.		
	В1.	-	0	0		
	В2.	0	+	+		
		Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.
	У1.	+	-	+	-	-
	У2.	-	+	-	+	0
	У3.	-	+	+	+	-
		Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1.	Сл2.	Сл3.		
	У1.	+	+	+		
	У2.	-	+	-		
	У3.	-	-	-		

На третьем этапе составляется итоговая матрица. Для построения этой матрицы используются матрицы смежности для слабых и сильных сторон с угрозами и возможностями научного исследования.

Итоговая матрица SWOT-анализа настоящего научно-исследовательского проекта представлена в таблице 7.5.

Таблица 7.5 –SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Высокая точность распознавания значений коррозионных свойств грунтов</p> <p>С2. Простота и малая стоимость реализации метода распознавания</p> <p>С3. Малые затраты на перенастройку системы к новым условиям работы</p> <p>С4. Распространённость и доступность объектов исследования</p> <p>С5. Экологичность проведенных исследований</p>	<p>Сл1. Погрешность методов анализа</p> <p>Сл2. Необходимость дополнительного обучения сотрудников</p> <p>Сл3. Необходимость периодического мониторинга изменений</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на исследования</p> <p>В2. Сокращение сроков проведения инженерных изысканий</p>	<p>Появление спроса за счет универсальности исследования.</p> <p>Быстрое продвижение работы в связи с преимуществами данного исследования.</p>	<p>Необходимость дополнительной проверки результатов исследования на внешнем и внутреннем контроле.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Увеличение времени на обучение специалистов при потере сотрудника</p> <p>У2. Развитие конкуренции</p> <p>У3. Повышение стоимости специального оборудования для проведения анализов</p>	<p>Обеспечение высокой точности метода и возможности его быстрой реализации позволить повысить общую эффективность</p>	<p>Из-за длительности анализа, вызванной всеми тремя слабыми сторонами, могут возникнуть проблемы с продвижением данного исследования.</p>

7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Существует необходимость оценки степени готовности научно-исследовательской разработки на каждой стадии её жизненного цикла. С этой целью была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 7.6). При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 7.6 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	2

5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	54	49

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации определяется исходя из бланка по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum_i B_i \quad (3.1.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по направлению;

B_i – балл i -го показателя.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет оценить меру готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ лежит в диапазоне от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая. Согласно полученным значениям для настоящей научной разработки, она имеет перспективность выше среднего.

7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Цель коммерциализации проекта: привлечение финансирования для продолжения и развития научно-технических исследований, обеспечение постоянного притока финансовых средств

Методы коммерциализации результатов исследования:

- организации собственного либо совместного предприятия для самостоятельного развития исследований путем привлечения внешних средств заказчиков;
- инжиниринг (консультация заказчиков в вопросах проведения изыскательных работ при вводе в эксплуатацию объектов заказчиков);
- частичная передача интеллектуальной собственности либо полная с условием отчислений процентов за её использование.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

7.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта

7.2.1 Цели и результат проекта

Пользователями данного метода исследования могут стать специалисты изыскательных организаций, ресурсодобывающие предприятия, оценивающие свойства грунтов при разработке месторождений (таблица 7.7).

Таблица 7.7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Изыскательные организации	Получение промежуточных данных о физико-механических свойствах грунтов для проведения изыскательных работ
Ресурсодобывающие предприятия	Получение данных о коррозионных свойствах грунтов на перспективном месторождении

Цели и результат ресурсоэффективности и ресурсосбережения представлены в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Цели и результат ресурсоэффективности и ресурсосбережения проекта

Цели проекта:	Изучение коррозионных свойств грунтов на разрабатываемых месторождениях
Ожидаемые результаты проекта:	Составление рекомендаций по уменьшению влияния коррозионного воздействия со стороны грунта на металлоконструкции на основании данных, полученных в результате анализов
Критерии приемки результата проекта:	Определить спектр свойств грунтов, определяющих их коррозионную активность и обосновать их
Требования к результату проекта:	Требование:
	Отбор проб грунтов;
	Подготовка проб для анализа в лаборатории;
Провести анализ подготовленных проб;	

	Проведение оценки коррозионных свойств; Выявление способов уменьшения коррозионной агрессивности грунтов.
--	--

Определенные в данном разделе заинтересованные стороны и иерархия целей проекта и их достижения позволят более точно сформировать необходимые шаги развития проекта, определить основные и второстепенные задачи и срок их выполнения.

7.2.2 Организационная структура проекта

В данном разделе определена рабочая группа проекта, роль каждого участника и выполняемые участниками группы функции. В таблице 7.9 представлена информация о рабочей группе проекта.

Таблица 7.9 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- за- траты, час.
1.	Бракоренко Н.Н., Научный руководи- тель (0.5 ставки)	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	100
2.	Михайлова В.В., магистрант ОГ ИШПР	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, отбор проб, пробоподготовка, ана- лиз лабораторных данных, напи- сание работы	600
ИТОГО:				700

При написании научного проекта, кроме магистра задействованы специа-
листы:

- *Руководитель проекта*, отвечающий за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта. Руководитель магистерской

диссертации чаще всего является и руководителем проекта.

- *Исполнитель по проекту* – магистрант, являющийся специалистом, выполняющем отдельные работы по проекту магистерской диссертации.

7.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Ограничения настоящего проекта представлены в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	604266,83 руб.
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.10.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

7.3 Планирование управления научно-техническим проектом

7.3.1 План проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 – Иерархическая структура работ

7.3.2 Контрольные события проекта

Определены ключевые события проекта, даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Данные указаны в таблице 7.11 и 7.12.

Таблица 7.11 – Контрольные события проекта.

№ п/п	Контрольное событие	Дата начала	Дата окончания	Состав участников
1.	Утверждение темы магистерской диссертации	01.10.2020	31.10.2020	Научный руководитель, Михайлова В.В.
2.	Согласование плана работ	01.11.2020	30.11.2020	Научный руководитель, Михайлова В.В.
3.	Отбор проб грунтов и проведение анализов	01.12.2020	30.06.2021	Михайлова В.В.
4.	Анализ полученных результатов	01.08.2021	31.10.2021	Научный руководитель, Михайлова В.В.
5.	Составление литературного обзора по тематике исследования	01.11.2021	31.01.2022	Михайлова В.В.
6.	Написание отчета о проделанной работе	02.02.2022	20.05.2022	Михайлова В.В.

Таблица 7.12 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Т, дней	2020				2021												2022					
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	
Утверждение темы магистерской диссертации	30		■																				
Согласование плана работ	30			■																			
Отбор проб грунтов и проведение анализов	248				■	■	■	■	■	■	■												
Анализ полученных результатов	90											■	■	■									
Составление литературного обзора по тематике исследования	120															■	■	■					
Написание отчета о проделанной работе	100																	■	■	■	■		

■	Научный руководитель
■	Михайлова В.В.

7.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования необходимо в полной мере оценить и отразить все виды планируемых расходов, необходимых для его выполнения. Затраты были сгруппированы по следующим статьям:

1. Затраты на расходные материалы;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Накладные расходы.

Расходные материалы. В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 7.13).

Таблица 7.13 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Журнал для записи работ	3	40	120
Журнал для записи результатов	3	40	120
Ручка шариковая	10	50	500
Фильтровальная бумага	500	2,5	1250
Электроэнергия	500 (КВт)	2,73	1365
Вода дистиллированная	15 литров	41,68	625,2
Вода из городского водопровода	16 м ³	52,55	840,8
Всего за материалы	3821		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			191
Итого по статье			5012 руб.

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 7.14).

Таблица 7.14 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Ноутбук (ASUS Laptop 15 L510MA-BQ870)	1	32000	32000
2	ПО Microsoft office	1	6000	6000
3	ПО Origin Pro	6 мес. (Learning Edition) /2 мес. (Student Version)	0 /4761 (69\$).	9522
Итого, руб.:				47522

Расчет основной заработной платы. Включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 14.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где: $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 7.15.

Таблица 7.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск	14	14
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b * (k_{пр} + k_d) * k_p, \text{ где}$$

Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

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

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_b * K_p, \text{ где}$$

Z_b – базовый оклад, руб.;

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

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2021 году без учета РК составил 37700 руб., с учетом того, что ставка руководителя равна 0.5, то должностной оклад будет равен 18850 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 7.16.

Таблица 7.16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	18850	1	0,02	1,3	24 995,1	613,08	212	129 974,5 2
Магистрант	6500	-	-	1,3	8450	414.52	212	87880

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. Включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей;

выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

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

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 7.17 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 7.17 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	129974,52	87880
Дополнительная зарплата	62387,53	10545,6
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	192362,05	98425,6

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

Тарифы страховых взносов разделены на несколько категорий:

- по пенсионному страхованию (22%);
- отчисления, направляемые на медицинское страхование в рамках ОМС (5,1%);
- взносы на социальное страховое обеспечение на случай заболеваний и материнства (2,9%);

Первые три вида взносов регулируются ФЗ от 22.12.2005 N 179-ФЗ (с изм. от 22.12.2020) "О страховых тарифах на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2006 год". Размеры страховых взносов представлены в таблице 7.18.

Таблица 7.18 – Размеры страховых взносов в рамках проекта

Тип страховых взносов	Ставка в процентах
ПФР	22
ФСС на случай болезни и материнства	2,9
ФФОМС	5,1
Итого:	30

Для данной научно-исследовательской работы сумма отчислений на социальные нужды будет составлять 87236,29 руб.

Научные и производственные командировки. Включены расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Затраты на научные и производственные командировки составляют 29078,77 руб.

Накладные расходы. Расчет накладных расходов проведен по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (107854,52 + 72933,13) = 144630,12$$

где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляет 144630,12, которые приведены в таблице 7.19.

Таблица 7.19 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям						
	Расходные материалы	Специальное оборудование для научных работ	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	5012	47522	290787,65	87236,29	29078,77	144630,12	604266,83
Аналог	8000	198200	462320,2	138696,06	55 478,42	369856,6	1731410,4

Операционные затраты, руб.=сырье+амортизация+ЗП (осн+доп)+ соц.отч.+ науч.ком+
контр.расх+ накл.расх=35%*бюджета

$$A_r = C_{\text{перв.}} \cdot Na / 100 = C_{\text{перв.}} \cdot 0,1$$

7.4 Организационная структура проекта

Используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная. Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать таблице 7.20.

Таблица 7.20 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональ- ная	Матрич- ная	Проект- ная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Пример проектной организационной структуры научного проекта приведен на рисунке 7.2.

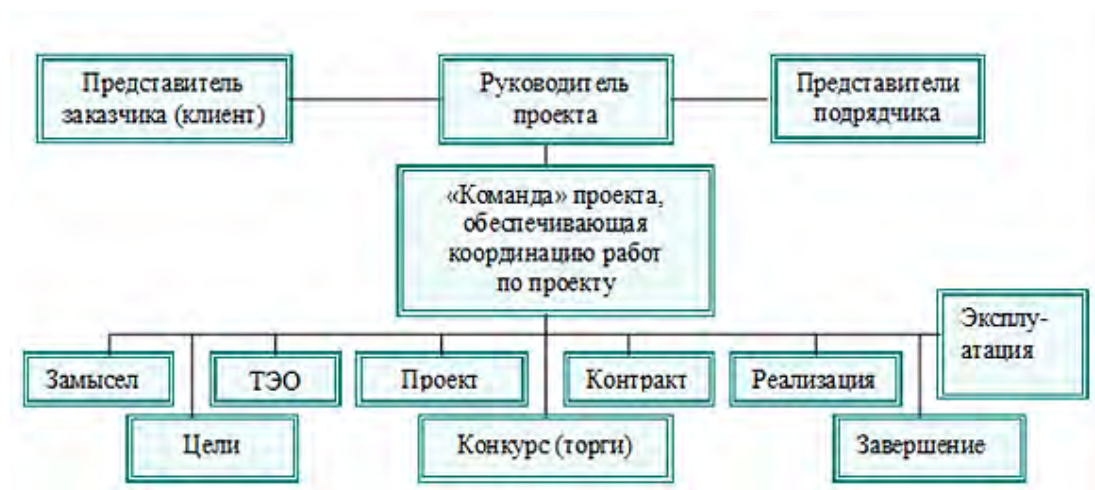


Рисунок 7.2 – Проектная структура проекта

7.4.1 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта сформирована матрица ответственности (таблица 7.21).

Таблица 7.21 – Матрица ответственности

<i>Этапы проекта</i>	<i>Руководитель проекта</i>	<i>Исполнитель</i>
Получение проб грунтов	С, У	И, О
Анализ проб грунтов	С, У	И, О
Подготовка технического отчета	С, У	И, О
<i>О – ответственный</i> <i>И – исполнитель</i> <i>У – утверждающее лицо</i> <i>С – согласующее лицо</i>		

7.4.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 7.22).

Таблица 7.22 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

7.4.3 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 7.23.

Таблица 7.23 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения	Условия наступления
«Текучка» кадров	Срыв сроков выполнения работ.	4	5	высокий	Разработка программы профессионального роста.	Низкая заработная плата. Отсутствие перспектив в проф. развитии
Разрыв платежного баланса	Временная неплатежеспособность	5	5	высокий	Заключение договора с банком о льготном кредитовании, об оплате векселями	Выполнение работ без аванса с расчетом после активирования. Длительность выполнения работ
Снижение цены продукции из-за роста конкуренции	Снижение рентабельности, прибыли	4	5	высокий	Проведение маркетинговых исследований. Программа лояльности к постоянным клиентам	Увеличение количества фирм-конкурентов. Снижение рыночной цены продукции
Изменение законодательства в части технических требований к результату работ	Временная потеря заказов	3	4	средний	Мониторинг изменений в законодательстве	Принятие нового технического регламента
Повышение стоимости специализированного программного обеспечения	Незапланированные издержки	4	3	средний	Формирование финансовых резервов. Заключение договора с банком о льготном кредитовании	Повышение стоимости ПО в одностороннем порядке
Наложение одних объектов на другие при планировании работ	Срыв сроков выполнения работ. Снижение качества результата работ	4	4	высокий	Система планирования работ, мониторинг контрольных точек проектов. Система стимулирования сотрудников за досрочное выполнение работ	Большой объем заказов

7.5. Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

7.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (Net Present Value – NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов). Различается окончательная эффективность проекта и затраты предприятия до даты, когда проект начнет приносить прибыль.

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опт}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП_{опт} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 7.24. При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации - 10%=60426,68 руб. $A_T = C_{перв} * Na/100$, себ. = **604266,83 р., Выручка=себестоимость*1,25 = 755333,43**

Таблица 7.24 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	755333,43	755333,43	755333,43	755333,43
2	Итого приток, руб.	0	755333,43	755333,43	755333,43	755333,43
3	Инвестиционные издержки, руб.	-604266,83	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (до 35% от бюджета)	0	211493,39	211493,39	211493,39	211493,39
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	543840,04	543840,04	543840,04	543840,04
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	108 768	108 768	108 768	108 768
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	435072,04	435 072,04	435072,04	435072,04
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-604266,83	495 498,72	495 498,72	495 498,72	495 498,72
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20%$ (КД)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-604266,83	412 750,43	343 876,11	286 398,26	238 830,38
12	\sum ЧДД, руб		1 281 855			
12	Итого NPV, руб.		677 588,17			

$$NPV=1\ 281\ 855-604266,83=677\ 588,17>0$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$K_d = \frac{1}{(1+i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета (порядковый номер периода с начала реализации проекта).

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 227 248,8 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{0It}}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1\ 281\ 855}{604\ 266,83} = 2,12$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 7.25 и на рисунке 7.3.

Таблица 7.25 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-604266,83	495 498,72	495 498,72	495 498,72	495 498,72	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	<u>0,909</u>	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
	1,1	1	0,47	0,23	0,11	0,05	
	1,2	1	0,45	0,2	0,09	0,04	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	<u>0,1</u>	-604266,83	450408,33	409281,9	372119,5	338425,6	965968,61
	0,2	-604266,83	412750,4338	343876,1	286398,3	238830,4	677588,35
	0,3	-604266,83	381038,5157	293335,2	225451,9	173424,6	468983,39
	0,4	-604266,83	353786,0861	252704,3	180361,5	128829,7	311414,80
	0,5	-604266,83	330497,6462	220001,4	146172,1	98108,75	190513,11
	0,6	-604266,83	309686,7	193244,5	120901,7	75811,3	95377,36
	0,7	-604266,83	291353,2474	165992,1	100586,2	55495,86	9160,58
	0,8	-604266,83	275497,2883	153109,1	84730,28	47072,38	-43857,77
	0,9	-604266,83	260632,3267	137253,1	72342,81	38153,4	-95885,14
	1,0	-604266,83	247749,36	123874,7	61937,34	30720,92	-139984,52

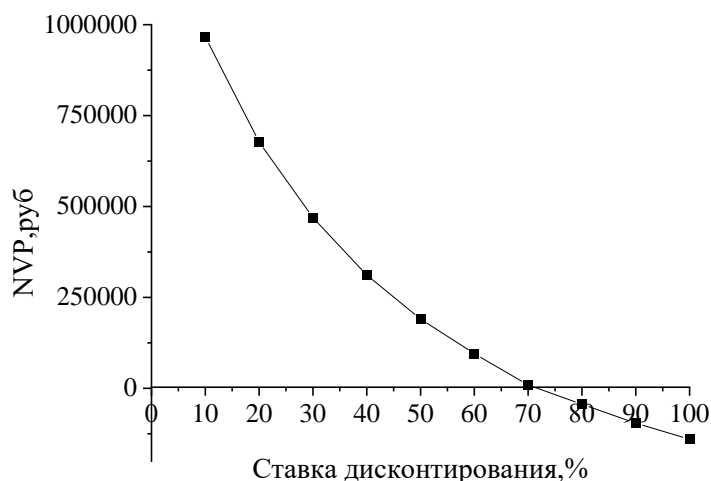


Рисунок 7.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, стремясь к отрицательным значениям. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,71.

- $IRR > i$, проект эффективен.
- Запас экономической прочности проекта: $71\% - 20\% = 51\%$

Дисконтированный срок окупаемости.

Одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 7.26).

Таблица 7.26 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-604266,83	412750,43	343876,1	286398,3	238830,4
2	То же нарастающим итогом, руб.	-604266,83	-191 516,4	152 359,7	438 758	677 588,4
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{дск} = 1 + (191\ 516,4 / 343876,1) = 1,55$ года				

Из проведённых расчётов можно заключить, что устойчивость проекта особых подозрений не вызывает.

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 7.27).

Таблица 7.27 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие общей информации о коррозионных свойствах грунтов и биокоррозии грунтов на объектах НГК Тюменской области	Составлена база данных, содержащая информацию о коррозионных свойствах грунтов
Отсутствие электронного информационного каталога, содержащего в себе рекомендации о защите от воздействия коррозии грунтов для региона исследования	Возможность использования данных и доступность расширенному количеству заинтересованных лиц

7.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель *ресурсоэффективности* вариантов объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (2)$$

где I_m^a - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i - весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p - балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n - число параметров сравнения.

В качестве вариантов исполнения проекта рассмотрим три организации: две организации осуществляют деятельность отдельно в сфере инженерных изысканий: лабораторные и полевые методы (условно аналог 1) и лабораторные методы исследования коррозии (условно аналог 2). Третья организация (текущий проект) осуществляет деятельность в сфере инженерных изысканий, но в качестве продукта предлагает комплексный подход – на основании лабораторных и полевых исследований, а также биокоррозии составляется база данных с коррозионными условиями и проектами по решению.

Экспертным путем установлена балльная оценка для текущего проекта и аналогов. Расчеты проведены по формуле (2). Полученные данные сводим в таблицу 7.28.

Таблица 7.28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра <i>a</i>	Текущий проект (комплексный подход) <i>B</i>	Аналог 1	Аналог 2
1. Повышение производительности труда пользователя	0,10	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,12	5	2	4
3. Энергоэкономичность	0,10	5	4	2
4. Надежность	0,20	4	5	5
5. Простота эксплуатации	0,04	5	3	4
6. Конкурентоспособность продукта	0,11	5	4	4
7. Цена	0,15	5	3	3
8. Срок выполнения работ	0,13	5	4	2
9. Уровень проникновения на рынок	0,05	3	5	5
Итого:	1,00	4,1	3,4	3,4

$$I_m^P = 4,1$$

$$I_1^A = 3,4$$

$$I_2^A = 3,4$$

Таким образом, у текущего проекта интегральный показатель ресурсоэффективности является наивысшим, что говорит о более высокой эффективности по сравнению с аналогами.

Интегральный *финансовый* показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (3)$$

где I_{Φ}^P – интегральный *финансовый* показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость *i*-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат

разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель *эффективности* разработки - $I_{финр}^p$ и аналога – $I_{финр}^a$ – определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

Сравнение интегрального показателя *эффективности* текущего проекта и аналогов позволяет определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

Где $I_{финр}^p$ – интегральный показатель эффективности разработки и $I_{финр}^a$ – аналога., а $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта.

Стоимость вариантов исполнения представлена в виде таблицы (табл. 7.29).

Таблица 7.29 – Стоимость вариантов исполнения

Текущий проект	Аналог (раздельное выполнение)	Максимальная стоимость исполнения
604266,83	1731410,4	1731410,4

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.30.

Таблица 7.30 – Сравнительная эффективность разработки

Показатель	Текущий проект	Аналог (мониторинг)
Интегральный финансовый показатель разработки $I_{ф}^p$	0,35	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки I_m	4,1	3,4
Интегральный показатель эффективности $I_{финр}^p$	11,7	9,7
Сравнительная эффективность вариантов исполнения $\mathcal{E}_{ср}$	1,2	0,83

Сравнение значений интегральных показателей позволяет сделать выбор в пользу текущего проекта. Интегральный финансовый показатель свидетельствует об удешевлении стоимости текущего проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности является наивысшим, что говорит о более высокой эффективности текущего проекта по сравнению с аналогами. Показатель сравнительной эффективности говорит о том, что с позиций финансовой и ресурсной эффективности текущий проект в 1,2 раза предпочтительнее аналога.

В результате выполнения данного раздела был выполнен анализ конкурентных технических решений. Анализ технических и экономических критериев показал, что организация, предлагающая комплексный продукт, обладает преимуществом по сравнению с конкурентами. В рамках разработки устава проекта были сформулированы цели, результат, область применения проекта. Был составлен «портрет» потребителя НТИ, выполнено сегментирование рынка, SWOT-анализ.

При работе над планированием были определены этапы работ, их трудоемкость, разработан график Ганта. Продолжительность работ по получению исходных данных и проведению расчетов (не считая подготовительных работ) займет 338 календарных дней с начала декабря 2020 до конца октября 2021, с учётом общего времени 618 календарных дней.

При оценке сравнительной эффективности было установлено, что с позиций финансовой и ресурсной эффективности текущий проект в 1,2 раза предпочтительнее аналога.

8 Социальная ответственность

Данный раздел магистерской диссертации направлен на выявление знаний в сфере ведения профессиональной деятельности с учётом социальных, правовых, экологических и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, а также на способность нести социальную ответственность за принимаемые решения, осознавать необходимость устойчивого развития.

Согласно ГОСТ Р ИСО 26000 «Руководство по социальной ответственности», социальная ответственность определяется как ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду, через прозрачное и этическое поведение, которое: - содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества; - учитывает ожидания заинтересованных сторон; - соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения); - интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях.

Данная магистерская диссертация представляет собой научно-исследовательскую работу, целью которой является оценка коррозионных свойств грунтов и выявление взаимосвязей между удельным электрическим сопротивлением грунта, составом и физическими показателями грунта на территории НГК Тюменской области .

Лабораторные исследования отобранных образцов грунтов и проб и камеральная обработка результатов проводятся после окончания всех полевых работ. Лабораторные исследования грунтов проводились с соблюдением требований соответствующих ГОСТов в лаборатории исследований грунтов АО «ТомскНИ-Пинефть».

Рабочим пространством при проведении исследований является, непосредственно, Лаборатория исследований грунтов, а рабочей зоной, попеременно, выступают кабинеты лаборатории, в зависимости от вида проводимого исследования. Лаборатория исследований грунтов представляет собой комплекс производственных помещений, предназначенных для определения физико-механических

характеристик грунтов и зоны для камеральной обработки результатов, оснащенной компьютерными устройствами. Помещения характеризуются присутствием достаточного количества естественного освещения и достаточной, для свободного перемещения и осуществления трудовой деятельности, площадью и планировкой пространства.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Охрана труда – система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия.

Правовые вопросы безопасности труда в России обеспечивает Конституция страны, которая гарантирует права граждан на труд, отдых, охрану здоровья, материальное обеспечение в старости, в случае болезни, при полной или частичной нетрудоспособности. В 1970 г. были приняты «Основы законодательства Российской Федерации о труде», которые пересматривались в 1990 г. Во многих статьях этого документа отражены вопросы создания безопасных условий труда: режимы труда и отдыха при проведении различных работ, гарантии и компенсации для трудящихся во вредных условиях, особенности использования труда женщин и молодежи, компенсации в связи с несчастными случаями, контроль и надзор за соблюдением законодательства о труде и ряд других.

В действующий в настоящее время «Кодекс законов о труде РФ» (КЗоТ РФ) включены основные требования, направленные на создание здоровых и безопасных условий труда. Таким образом, главные задачи трудового законодательства: создание необходимых правовых условий для достижения согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений.

Рабочая деятельность сотрудников АО «ТомскНИПИнефть» регламентируется Коллективным договором. Действующий коллективный договор является правовым актом, регулирующим трудовые и социальные отношения между Работодателем и Работниками на основании взаимных интересов сторон. Коллективный договор организации разработан в соответствии с требованиями «Кодекса законов о труде РФ» и нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права.

В Коллективном договоре тщательно разработан раздел «Охрана труда», где конкретно расписаны обязанности сторон по обеспечению безопасности жизни и здоровья работников. В организации также ведется политика в области промышленной безопасности и охраны труда, разработанная ПАО «НК» РОСНЕФТЬ» (№ПЗ-05.01 П-01).

Деятельность сотрудников лаборатории, помимо основных нормативных документов в области охраны труда, регламентируется «Положением о подразделении Лаборатории исследований грунтов», «Должностной инструкцией инженера» (соответствующей категории – I или II), а также трудовым договором.

Согласно внутренним трудовым документам, к инженеру ЛИГ предъявляются такие требования, как наличие высшего профессионального (геологического, инженерно-строительного) образования, наличие профессиональных знаний. Должностная инструкция также определяет функциональные обязанности, права и ответственность работника.

С апреля 2016 г. трудовой договор инженеров ЛИГ был дополнен пунктом, касательно условий труда: «Условия труда на рабочем месте Работника относятся к допустимым (класс 2). Рабочее место соответствует государственным нормативным требованиям охраны труда». Согласно Федеральному закону от 28.12.2013 №426-ФЗ (ред. От 01.05.2016) «О специальной оценке условий труда» [124], допустимыми условиями труда являются условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами (гигиеническими

нормативами) условий труда, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня(смены).

При трудоустройстве в АО «ТомскНИПИнефть», для получения допуска к исполнению своих обязанностей, помимо соответствующего специального образования, Работнику необходимо пройти медицинский осмотр, инструктаж по охране труда и технике безопасности, получить спецодежду.

Вопросы, касающиеся организации рабочей деятельности в ЛИГ соотносятся с правильной, удобной и безопасной организацией рабочего пространства. Важнейшими условиями рациональной организации лаборатории следует считать целесообразное размещение рабочих мест и оборудования. Общие эргономические требования к производственному оборудованию установлены ГОСТ 12.2.049-80 [125].

8.2 Производственная безопасность

Во время проведения лабораторных и камеральных работ могут возникнуть потенциально опасные и вредные факторы. Эти источники опасности разделены на виды опасных и вредных факторов на основании ГОСТ 12.0.003-2015 [126] (таблица 8.1).

Таблица 8.1 – Основные элементы производственного процесса при выполнении лабораторных исследований, формирующие вредные и опасные факторы

Этапы работ	Наименование видов работ и параметры производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015[126])		Нормативные документы
		Опасные	Вредные	
Лабораторный и камеральный этапы	1. Определение классификационных и прямых показателей свойств грунтов; 2. Работа на компьютере	1. Электрический ток; 2. Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхности инструментов; 3. Статическое электричество; 4. Пожарная и взрывная опасность*	1. Отклонение показателей микроклимата в помещении; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума на рабочем месте 4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны 5. Монотонность труда и умственное перенапряжение	ГОСТ 12.0.003-2015 [125] ГОСТ 12.1.019-2009 [127] ГОСТ 12.1.038-82 [128] ПУЭ [129] ГОСТ 12.1.045-84 [130] ГОСТ 12.1.004-91 [131] НПБ 105-03 [132] СанПиН 1.2.3685-21 [133] СП 52.13330.2016 [134] СанПиН 2.2.2/2.4.10-03 [135] СанПиН 1.2.3685-21 [136]. ГОСТ 12.1.030-81 [137] ГОСТ 12.1.003-2014 [138] ГОСТ 12.1.005-88 [139] Р 2.2.2006-05 [140]

* Примечание: Пожарная и взрывная безопасность рассматривается в разделе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях»

8.3 Анализ вредных факторов и обоснование мероприятий по их устранению при производстве лабораторных и камеральных работ

8.3.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Микроклимат представляет собой комплекс физических параметров воздуха, оказывающих влияние на тепловое состояние организма. К ним относят: температуру, влажность, скорость движения воздуха, инфракрасное излучение.

Микроклиматические параметры оказывают значительное влияние как на функциональную деятельность человека – его самочувствие и здоровье, его работоспособность, а также на надежность работы ЭВМ.

На микроклимат помещения лаборатории зачастую влияют погодные условия, особенно в летнее время года, когда продолжительность солнцестояния максимальная и отмечается нагрев помещений извне за счет солнечной радиации.

Основными источниками теплового излучения в лаборатории являются сушильные шкафы, муфельные печи, песчаные бани, а также приборы освещения (лампы накаливания). В кабинете, оборудованном компьютерами, источниками теплового излучения служат системные блоки ПК. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться параметры микроклимата в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [135].

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м² при облучении 50% поверхности человека и более, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [133].

Тепловое излучение, как от оборудования, так и возникающее в связи с погодными условиями, неблагоприятно воздействует на организм человека – повышая температуру окружающего воздуха, что затрудняет дыхание и уменьшает поступление кислорода в кровь, тем самым уменьшая работоспособность.

Лабораторные и камеральные работы относятся к категории Ib с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. В помещениях должны соблюдаться следующие параметры микроклимата по СанПиН 2.2.4.548-96 [133] (таблицы 8.2 и 8.3).

Таблица 8.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах [133].

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	Iб (до 139)	22-24	21-25	40-60	0,1-0,2
теплый	Iб (до 139)	23-25	22-26	40-60	0,1-0,2

Таблица 8.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах [133].

Пе- риод года	Категория работ по уровню энергоза- трат, Вт	Температура воздуха, °С		Темпера- тура поверх- ностей, °С	Относи- тельная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже опти- мальных величин	Диапазон выше опти- мальных величин			Если $t^{\circ} < t^{\circ}_{\text{опт}}$	Если $t^{\circ} > t^{\circ}_{\text{опт}}$
холод- ный	1б (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19-26	15-75	0,1	0,2
теплый	1б (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20-29	15-75	0,1	0,3

В камеральном помещении необходимо обеспечить приток свежего воздуха, количество которого определяется технико-экономическим расчетом и выбором схемы системы вентиляции. Минимальный расход воздуха определяется из расчета 50—60 м³/ч на одного человека, но не менее двукратного воздухообмена в час.

Проведем расчет воздухообмена в производственном помещении без вредных веществ.

Потребный воздухообмен определяется по формуле: $L=1000G/x_{\text{в}}-x_{\text{н}}$, м³/ч где L, м³/ч – потребный воздухообмен; G, г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; $x_{\text{в}}$, мг/м³ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88; $x_{\text{н}}$, мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по СанПиН 1.2.3685-21.

Из методического указания таблицы 2, определяем количество CO₂, выделяемой одним человеком $g = 68$ г/ч. Тогда $x_{\text{в}} = 9000$ мг/м³ и содержание CO₂ в наружном воздухе для больших городов $x_{\text{н}} = 1000$ мг/м³. Определяем потребный воздухообмен по формуле (1): $L = 68 \cdot 2 \cdot 1000 / (9000 - 1000) = 17$ м³/ч.

В камеральных помещениях также необходимо предусматривать систему отопления. Она должна обеспечить достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещениях в холодный период года, а также безопасность

в отношении пожара и взрыва. При этом колебания температуры в течение суток не должны превышать 2-3°C.

Таким образом, для поддержания соответствующих микроклиматических параметров должны использоваться системы отопления и вентиляции, а также проводится кондиционирование воздуха.

В лаборатории искусственная вентиляция достигается за счет работы вытяжек общеобменного типа, которые расположены в рабочих зонах с повышенной запыленностью. Также, в других рабочих помещениях для притока свежего воздуха и поддержания оптимальных микроклиматических параметров установлены кондиционеры. А для уменьшения воздействия солнечной радиации, преимущественно в летний период времени, используются жалюзи.

8.3.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Производственное освещение - неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека. При правильно организованном освещении рабочего места обеспечивается сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Производительность труда находится в прямой зависимости от рациональности освещения и повышается на 10-12%.

Различают следующие виды производственного освещения: естественное, искусственное и совмещенное. Естественное освещение осуществляется за счет прямого и отраженного света неба. Естественное освещение осуществляется через светопроемы, ориентированные на восток и запад. Искусственное освещение осуществляется светильниками и прожекторами. Оно может быть общим, местным или комбинированным. Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем при недостаточном естественном освещении. Если в светлое время суток уровень естественного освещения не соответствует нормам, то его дополняют искусственным. Такой вид освещения называют совмещенным [134].

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения

нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03 [136]. Так как лаборатория представляет собой кабинеты и рабочие комнаты, научно-исследовательского и проектного учреждения, а также лаборатория имеет помещение для работы с дисплеями и ПК, требования, предъявляемые к освещению производственных помещений для ЛИГ, регламентируются [136] и представлены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения [136].

Наименование помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м.	Естественное освещение КЕО, %		Совмещенное освещение КЕО, %		Искусственное освещение		
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении		При общем освещении
						всего	от общего	
<i>Конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения</i>								
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300
Помещения для работы с дисплеями видеотерминалами и залы ЭВМ	Г-0,8 Экран Монитора В-1,2	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400 200

Нормы освещенности зависят от принятой системы освещения. Так, при комбинированном искусственном освещении, как более экономичном, нормы выше, чем при общем. При этом освещенность, создаваемая светильниками общего освещения, должна составлять не менее 300-500 лк, а комбинированная - 750 лк [136].

В качестве источников искусственного освещения в лаборатории используются люминесцентные лампы типа ЛБ, которые попарно объединяются в светильники. Также, при проведении некоторых видов исследований, возникает необходимость применения ламп накаливания в светильниках местного освещения.

Яркость светящихся поверхностей, находящихся в поле зрения, не должна превышать 200 нт/м². Недостаточную освещенность устраняют при помощи дополнительных источников освещения.

8.3.3 Превышение уровней шума на рабочем месте

Шум — это беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. С физиологической точки зрения шум — это всякий неблагоприятный воспринимаемый звук. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое воздействие на рабочем месте неблагоприятно отражается на работающих и приводит к:

- снижению внимания;
- увеличению расхода энергии при одинаковой физической нагрузке;
- замедлению скорости психических реакций и т.п.

Источниками шума на рабочем месте, в лаборатории, может явиться оборудование - компрессоры, уплотняющие установки, сушильный шкаф, грунтовые мельницы и дробилки, также шум может провоцировать течение воды, работа вентиляционной системы или ЭВМ.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [138], выбирая вид трудовой деятельности для лаборатории, исходя из наличия как рабочих помещений, так и помещения для камеральной обработки результатов, оборудованного ПК (таблица 8.5).

Таблица 8.5 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня шума [138].

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Предприятия, учреждения и организации										
Помещения лабораторий для проведения экспериментов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Помещения в лабораториях для теоретических работ и обработки данных	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Средства и методы защиты от шума, применяемые на рабочих местах производственных и вспомогательных помещений, на территории промышленных предприятий, устанавливает ГОСТ 12.1.029-80 [141].

Одним из эффективных методов защиты от шума является правильная организация труда и отдыха (устройство кратковременных перерывов в работе). При проведении лабораторных работ данное мероприятие является наиболее подходящим, так как методика проведения испытаний грунтов и использование оборудования, производящего шум, предполагает перерывы в работе за счет смены деятельности, в связи с чем воздействует на сотрудника непродолжительно. Альтернативным методом защиты от шума является применение средств индивидуальной защиты - противозумные вкладыши и противозумные наушники.

8.3.4. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

При проведении лабораторных исследований в воздух выделяются вредные и опасные твердые и жидкие вещества, а также пары и газы. Пары и газы образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы образуют аэродисперсные системы – аэрозоли.

Аэрозолями называют воздух или газ, содержащие в себе взвешенные твердые или жидкие частицы. Аэрозоли дезинтеграции образуются при дроблении какого-либо твердого вещества, например, в дезинтеграторах, дробилках, мельницах и других процессах.

В лаборатории, непосредственным источником пыли, является грунт, частицы которого при проведении испытаний и пробоподготовки, особенно в сухом состоянии, распространяются на большие расстояния, при этом, попадая не только на рабочую поверхность и загрязняя ее, но и в организм человека.

Биологическая активность пыли зависит от ее химического состава. Фиброгенность пыли определяется содержанием в ней свободной двуокиси кремния (SiO₂). Чем больше содержание в пыли свободной двуокиси кремния, тем она более агрессивна.

Пыль, попадая в организм человека, оказывает фиброгенное воздействие, заключающееся в раздражении слизистых оболочек дыхательных путей. Оседая в легких, пыль задерживается в них. При длительном вдыхании пыли возникают профессиональные заболевания легких – пневмокониозы. При вдыхании пыли, содержащей свободный диоксид кремния (SiO₂), развивается наиболее известная форма пневмокониоза – силикоз [139]. Для воздуха рабочей зоны производственных помещений и открытых площадок в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [139] устанавливаются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ. ПДК выражаются в миллиграммах (мг) вредного вещества, приходящегося на 1 кубический метр воздуха, т. е. мг/м³. ПДК пыли приведены в таблице 8.6.

Таблица 8.6 - Предельно-допустимые концентрации пыли [**Ошибка! Закладка не определена.**]

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/ м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности
Пыль растительного и животного происхождения: с примесью диоксида кремния	4	аэрозоль	IV

Для снижения содержания пыли в воздухе рабочей зоны, в частности лабораторных помещений, проводятся следующие мероприятия:

- увлажнение обрабатываемых материалов предупреждает пыление, попадание частиц пыли в воздух рабочей зоны;
- использование вентиляции;
- применение средств индивидуальной защиты – маски, респираторы.

В лаборатории имеют применение все вышеперечисленные мероприятия по снижению содержания пыли в воздухе.

Для защиты от воздействия вредных веществ, находящихся в воздухе рабочей зоны, рекомендуется использовать индивидуальные средства защиты работающих (респираторы), однако следует учитывать, что при этом существенно снижается производительность труда персонала [140]. Фильтрующими приборами пользуются при невысоком содержании вредных веществ в воздухе рабочей зоны (не более 0,5% по объему) и при содержании кислорода в воздухе не менее 18%.

В лабораторных помещениях, в нашем случае, пыль хоть и не токсичная, но является постоянным вредным выделением, которое поступает в воздух в большом объеме. Воздухообмен в производственном помещении достигается за счёт многочисленных вытяжных устройств, расположенных в кабинетах с особо пыльными условиями производства работ

Необходимость воздухообмена также обосновывается удалением вредных веществ (выделяющихся вредных газов, паров и пыли); удалением излишних водяных паров; удалением избыточного тепла.

Определение потребного воздухообмена производится по допустимой концентрации пыли в помещении и воздухе населенных мест.

8.3.5. Монотонность труда и умственное перенапряжение

На данном этапе работы включают в себя все виды деятельности, требующие напряжения работы головного мозга, центральной нервной системы и зрительного напряжения. Факторы трудового процесса: тяжесть труда и монотонность труда проводится в соответствии с руководством Р 2.2.2006–05 [140].

Количественной оценкой умственного труда является степень нервно эмоциональной напряженности. Напряженность труда – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на ЦНС, органы чувств, эмоциональную сферу работника. Характеризуется интеллектуальными нагрузками (содержание работы, степень сложности задания), сенсорными (длительность наблюдения и число одновременно наблюдаемых объектов: контрольно-измерительные приборы, продукт производства), эмоциональными (степень

ответственности, риска для собственной жизни и безопасности других лиц), степенью монотонности нагрузок, режимом работы (продолжительность рабочего дня, сменность работы).

Лабораторные испытания грунтов непосредственно связаны с монотонной деятельностью и умственным перенапряжением, в следствие чего, согласно [140] класс условий труда по напряженности трудового процесса характеризуется как вредный:

- решение сложных задач с выбором по известным алгоритмам (работа по серии инструкции;
- обработка, проверка и контроль за выполнением задания;
- работа в условиях дефицита времени и информации с повышенной ответственностью за конечный результат.

Основным показателем трудовой деятельности человека принято считать его работоспособность, то есть способность производить действия, характеризующаяся количеством и качеством работы за определенное время. Во время трудовой деятельности функциональная способность организма изменяется во времени.

В соответствии с суточным циклом организма наивысшая работоспособность отмечается в утренние (с 8 до 12) и дневные (с 14 до 17) часы. В дневное время наименьшая работоспособность, как правило, отмечается в период между 12 и 14 ч, а в ночное время – с 3 до 4 ч.

С учетом этих закономерностей определяют сменность работы предприятий, начало и окончание работы в сменах, перерывы на отдых и сон.

На нормализацию условий труда направлены следующие мероприятия:

- чередование периодов работы и отдыха;
- двукратный отпуск в течение одного года работы;
- целесообразность пятидневной рабочей недели с двумя выходными днями подряд [134].

АО «ТомскНИПИнефть», куда входит Лаборатория исследований грунтов, выполняет все мероприятия, направленные на нормализацию условий труда в отношении сотрудников лаборатории.

8.4 Анализ опасных факторов и обоснование мероприятий по их устранению при производстве лабораторных и камеральных работ

8.4.1 Электрический ток

При выполнении лабораторных и камеральных работ источником поражения электрическим током являются: электрические провода, электрические приборы (электроприводы вспомогательных устройств, обогревательных элементов, работающих от электричества), выключатели, розетки, вилки, рубильники, переносимые лампы, ЭВМ.

Основная причина поражения электрическим током – нарушение правил работы с электроприборами по ГОСТ 12.1.019-2009 [127]. Причиной поражения электрическим током в лаборатории может явиться использование неисправных электроприборов, контакт сотрудника с токоведущими не изолированными частями электроприборов, ошибочно поданное напряжение на рабочее место, а также неисправность электропроводки.

Электрический удар – это возбуждение живых тканей током, сопровождающееся сокращением мышц. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает на него сложное действие, включая термическое, электролитическое и биологическое. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, устанавливает ГОСТ 12.1.038–82 [128].

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от скорости прохождения тока через тело человека: при длительности действия более 10 секунд-2 мА, при 10 секунд и менее-6 мА [126]. **Ошибка! Закладка не определена.**

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация работ, то есть соблюдение правил технической эксплуатации электроустановок и правил техники безопасности при эксплуатации

электроустановок. Основная причина смертельных случаев, связанных с поражением электрическим током – нарушение правил работы с электроприборами по ГОСТ 12.1.019-2009 [127]. Во избежание поражения электрическим током все токоведущие части электроприборов должны быть изолированы или закрыты кожухом.

К коллективным средствам защиты от поражения электрическим током, согласно ГОСТ 12.4.011–89 [142], применяемым в лаборатории исследований грунтов относятся:

- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства автоматического отключения;
- предохранительные устройства;
- знаки безопасности.

Индивидуальные дополнительные электротехнические средства обладают недостаточной электрической прочностью и не могут самостоятельно защитить человека от поражения током, поэтому их назначение – усилить защитное действие основных изолирующих средств, с которыми они должны применяться. К таким индивидуальным средствам защиты, применяемым в лаборатории, относятся диэлектрические резиновые коврики и резиновые перчатки, а также изолирующие подставки.

Среди мероприятий, проводимых в ЛИГ, направленных на ликвидацию причин травматизма осуществляются следующие:

- систематический контроль состояния изоляции электропроводов и кабелей;
- разработка инструкций по техническому обслуживанию и эксплуатации средств вычислительной техники, и контроль за их соблюдением;
- соблюдение правил противопожарной безопасности;
- своевременное и качественное выполнение работ по проведению планово-профилактических испытаний и предупредительных ремонтов.

В зависимости от условий, повышающих или понижающих опасность поражения электрическим током, все помещения делят на: помещения с повышенной опасностью, особо опасные и помещения без повышенной опасности. Помещения лаборатории и камеральной обработки материалов относятся к помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током, согласно ПУЭ [123**Ошибка! Закладка не определена.**], так как они характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность, а именно:

- влажность воздуха не превышает 75%;
- отсутствие токопроводящей пыли;
- отсутствие токопроводящих полов;
- относительно не высокая температура воздуха (ниже плюс 35 °С).

Общие требования по электробезопасности отражены в ГОСТ 12.1.019-79 [127**Ошибка! Закладка не определена.**] и ГОСТ 12.1.038-82 [128].

Что касается камерального помещения, то при работе на ПЭВМ все узлы одного компьютера и подключенное к нему периферийное оборудование должно питаться от одной фазы электросети [137]:

- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит с автоматами защиты и общими рубильниками;
- все соединения ЭВМ и внешнего оборудования должны проводиться при отключенном электропитании.

8.4.2 Статическое электричество

Источником статического электричества является - электростатическое поле (ЭСП), возникающее в результате облучения экрана монитора ПЭВМ потоком заряженных частиц.

Неприятности, вызванные им, связаны с пылью, накапливающейся в электростатически заряженных экранах, которая летит на оператора во время его работы за монитором.

Нормирование уровней напряженности ЭСП осуществляют в соответствии с ГОСТ 12.1.045-84 [130] в зависимости от времени пребывания персонала на рабочих местах. Предельно допустимый уровень напряжения ЭСП $E_{пред}$ равен 60 кВ/м в течение 1 ч.

Воздействие электростатического поля (ЭСП) на человека связано с протеканием через него слабого тока (несколько микроампер). Электротравм никогда не наблюдается, однако вследствие рефлекторной реакции на ток возможна механическая травма при ударе о рядом расположенные элементы конструкций, падении с высоты. Предотвратить образование статического электричества или уменьшить его величину можно наведением зарядов противоположного знака, изготовлением трущихся поверхностей из однородных материалов. Ускорению снятия зарядов способствует заземление оборудования, увеличение относительной влажности воздуха и снижение электропроводности материалов с помощью антистатических добавок.

8.4.3 Острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхности инструментов

В этом случае опасность исходит от оборудования, применяемого для лабораторных опытов, таких как кольца для определения плотности грунта, инструмент для забивания колец в монолит, а также поверхности лабораторных приборов.

Элементы и конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих по ГОСТ 12.0.003-2015 [126].

При этом неправильное или неаккуратное использование данного оборудования может привести к различного рода механическим травмам, а именно порезам, ушибам, ссадинам, переломам.

В целях предупреждения получения подобного рода травм в лаборатории, следует соблюдать меры предосторожности при работе с технологическим инструментом и оборудованием, основательно подходить к организации трудовой деятельности, не нарушая методик выполнения испытаний грунтов и используя оборудование по назначению. В качестве СИЗ возможно применение спецодежды, уменьшающей прямой контакт опасного фактора с кожей и частями тела работающего – халат, перчатки и т.п. Так же к работе должны допускаться лица прошедшие медицинское обследование и инструктаж [131]. **Ошибка! Закладка не определена.**

8.5 Экологическая безопасность

Геологическая среда - неотъемлемая часть окружающей среды и биосферы, охватывающая верхние разрезы гидросферы, в которую входят четыре важнейших компонента: горные породы (вместе с почвой), подземные воды (вместе с жидкими углеродами), природные газы и микроорганизмы, постоянно находящиеся во взаимодействии, формируя в естественных и нарушенных условиях динамическое равновесие.

Безопасность экологическая - состояние природной среды, обеспечивающее экологический баланс в природе и защиту окружающей среды и человека от вредного воздействия неблагоприятных факторов, вызванных естественными процессами и антропогенным воздействием, включая техногенное (промышленность, строительство) и сельскохозяйственное [143].

Экологически вредное воздействие - воздействие объекта хозяйственной или иной деятельности, приводящее к значительным, иногда необратимым изменениям в природной среде и оказывающее негативное влияние на человека [143].

Обеспечение экологической безопасности на территории РФ, формирование и укрепление экологического правопорядка основаны на действии Федерального закона «Об охране окружающей среды» [144]. Закон содержит свод правил охраны окружающей природной среды в новых условиях хозяйственного развития и регулирует природоохранные отношения в сфере всей природной

среды, не выделяя ее отдельные объекты, охране которых посвящено специальное законодательство.

АО «ТомскНИПИнефть» является научно-исследовательским и проектным институтом ПАО «НК» РОСНЕФТЬ», поэтому, при осуществлении своей деятельности, руководствуется Политикой в области охраны окружающей среды (№ПЗ-05.02 П-01), разработанной компанией. Политика разработана с учетом требований законодательства Российской Федерации, в том числе Федерального закона от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды», международного стандарта ISO 14001 и OHSAS 18001 и лучших мировых практик в области охраны окружающей среды.

В процессе осуществления рабочей деятельности, лаборатория исследований грунтов воздействует на атмосферу, гидросферу, литосферу.

Охрана данных компонентов природной среды и организация мероприятий по снижению воздействия деятельности лаборатории на окружающую среду организуется Департаментом лабораторных исследований, куда относится ЛИГ. В связи с отсутствием достаточного воздействия, которое негативно повлияло бы на качество компонентов природной среды, деятельность всех испытательных лабораторий считается безопасной.

8.5.1 Охрана атмосферы

Цель защиты атмосферы от вредных выбросов и выделений сводится к обеспечению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое атмосферы равных или менее ПДК.

Пыль, образующаяся в результате проведения испытаний грунтов и попадающая в атмосферу за счет работы вентиляции, не попадает в атмосферу в достаточном для загрязнения количестве. Такая пыль не содержит оксидов токсичных металлов и неметаллов, которые являются распространенными компонентами, загрязняющими атмосферный воздух, предельно допустимые концентрации которых регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 [145]. Упоминания о «грунтовой» пыли, характерной для ЛИГ, отсутствуют в каком-либо нормативном

документе, поэтому нормирование выбросов лаборатории осуществляется по похожему виду пыли - пыль растительного и животного происхождения: с примесью диоксида кремния по ГОСТ 12.1.005-88 [139]. Оценка объемов выбросов пыли лабораторией показала, что они минимальны и нетоксичны. В этой связи, можно рассматривать Лабораторию исследований грунтов как производственное помещение, которое не выбрасывает в атмосферу загрязняющие вещества, в таких объемах, чтобы оказывать воздействие на качество атмосферного воздуха.

8.5.2 Охрана гидросферы

При проведении лабораторных работ сточные воды подлежат сбросу в канализационную сеть населенного пункта.

К источникам загрязнения гидросферы, при исследовании грунтов, можно отнести грунты, оставшиеся на лабораторной посуде, бюксах в ходе ее применения, которые попадают в центральную канализационную сеть в следствие их очищения и мытья. Грунты попадают в сточные воды в количестве, недостаточном для загрязнения.

Деятельность лаборатории косвенно загрязняет гидросферу и лишь опосредованно влияет на качество воды в водном объекте, куда осуществляется сброс сточных вод. Таким образом, грунты, попадая в водный объект со сточными водами, могут увеличивать мутность воды в водном объекте, а также накапливаться на дне водоема или водотока в месте осуществления сброса сточных вод. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений устанавливает ГОСТ 17.1.3.13–86 [146].

8.5.3 Охрана литосферы

В ЛИГ главным и основным загрязнителем литосферы являются отработанные грунты. Отработанные грунты согласно определению, приведенному в ГОСТ Р 59070-2020 [147], можно отнести к отвальным грунтам. Отвальные грунты – это горные породы, составляющие отвал, разрыхленные или более, или менее перемешанные в процессе их выемки, транспортирования и отвалообразования.

Во избежание загрязнения литосферы, в лаборатории придерживаются схемы утилизации грунтов, конечным этапом которой является попадание обработанных объемов грунта на отвал. Согласно данной схемы, все сотрудники лаборатории утилизируют грунты в специально отведенные контейнеры (отдельно от твердых бытовых отходов), которые после выносятся в специально-отведенное место на территории организации. Дальнейшая утилизация грунтов до места их складирования, осуществляется сторонней организацией, в соответствии с требованиями санитарно-эпидемиологической службы к вывозу и утилизации грунта.

Требования к объектам размещения отходов, а также их утилизации, выполняются в соответствии с ФЗ «Об отходах производства и потребления» [148].

В лаборатории также имеются твердые бытовые отходы, в качестве которых выступают продукты питания, бумага, пластиковая тара, канцелярия и т.п. Такие отходы должны быть размещены на полигоне ТБО, что и осуществляется посредством организованного вывоза отходов с территории АО «ТомскНИ-Пинефть».

8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

Под источником ЧС понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, широко распространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего произошло или может возникнуть ЧС.

ЧС могут быть классифицированы по значительному числу признаков:

- по происхождению (антропогенные, природные);

- по продолжительности (кратковременные затяжные);
- по характеру (преднамеренные, непреднамеренные);
- по масштабу распространения.

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются пожар или взрыв на рабочем месте, поэтому на каждом предприятии обеспечение пожарной безопасности является первостепенной задачей.

Пожарная безопасность — это система организационных и технических средств, направленных на профилактику и ликвидацию пожаров.

Основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [149], определяющий общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации и Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [150], устанавливающий основные положения технического регулирования в указанной сфере и общие требования пожарной безопасности к объектам защиты

Причинами возникновения пожаров в помещении являются: неосторожное обращение с огнем, разряды статического и атмосферного электричества, чаще всего происходящие при отсутствии заземлений и молниеотводов; неисправность производственного оборудования и нарушение технологического процесса.

Согласно НПБ 105-03 [132] и СП 12.13130.2009 [151], помещения ЛИГ по пожарной взрывной относятся к категории относится к пожароопасным помещениям категории В (В1-В4), согласно ФЗ № 123 от 22.07.2008 г. «Технический регламенту о требованиях пожарной безопасности» [152] и характеризуются как помещения, в которых находятся горючие и трудно горючие твердые материалы (в том числе пыли и волокна, мебель), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 [154] и иметь средства пожаротушения

по ГОСТ 12.4.009-83 [153]. При проведении лабораторных и камеральных работ необходимо соблюдать технику противопожарной безопасности, регламентируемую на предприятии.

Запрещается загромождать предметами и оборудованием проходы, коридоры, выходы и лестницы. Все двери эвакуационных выходов должны свободно открываться в направлении выхода из зданий. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарная защита [147]. В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара.

Все сотрудники лаборатории должны быть обучены правилам обращения с огне- и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также должны уметь обращаться с противоголозом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.

Курить разрешается только в отведенном и оборудованном для этой цели месте. Курить в помещениях лаборатории строго запрещается!

Все нагревательные приборы должны быть установлены на термоизолирующих подставках. Запрещается эксплуатация неисправных лабораторных и нагревательных приборов. После окончания работы необходимо отключить электроэнергию, газ и воду во всех помещениях.

Все работники на предприятии должны проходить специальную противопожарную подготовку. Ответственные за пожарную безопасность обязаны не допускать к работе лиц, не прошедших инструктаж по соблюдению требований пожарной безопасности. Обучать персонал правилам пожарной безопасности и разъяснять порядок действий в случае загорания или пожара, контролировать соблюдение рабочими противопожарного режима, обеспечивать исправное содержание и постоянную готовность к действию средств огнетушения, применять меры по ликвидации возникающих пожаров.

За нарушение правил, рабочие несут ответственность, относящуюся к выполняемой ими работе или специальных инструкций в порядке, установленном правилами внутреннего трудового распорядка.

При сигнале об аварии, сотрудники предприятия обязаны немедленно принять меры индивидуальной защиты и покинуть рабочее помещение, двигаясь заранее установленным маршрутом к эвакуатору. Средства коллективной и индивидуальной защиты должны обеспечивать безопасность людей в течение всего времени действия опасных факторов пожара. Коллективную защиту следует обеспечивать с помощью пожаробезопасных зон и других конструктивных решений. Средства индивидуальной защиты следует применять также для пожарных, участвующих в тушении пожара.

Каждый сотрудник лаборатории, заметивший пожар, задымление или другие признаки пожара, обязан [154]:

- немедленно вызвать пожарную часть по телефону;
- принять меры по ограничению распространения огня и ликвидации пожара;
- поставить в известность начальника лаборатории, который в свою очередь должен известить сотрудников, принять меры к их эвакуации и ликвидации пожара.

Для быстрой ликвидации возможного пожара при производстве работ располагается стенд с противопожарным оборудованием, содержание которого должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004-91[154] (таблица 8.7).

Таблица 8.7 – Противопожарное оборудование на предприятии

Оборудование	Количество, шт.
Огнетушитель марки ОУ-5	1
Ведро пожарное	1
Багор	1
Топор	1
Лом	1
Ящик с песком, 0.2 м ³	1

Пожарный щит необходим для неотложных мер по тушению возможного возгорания до приезда пожарной бригады (звонить 01 или с сотового 010). Инструменты должны находиться в исправном состоянии и обеспечивать в случае необходимости возможность либо полной ликвидации огня, либо локализации возгорания [Ошибка! Закладка не определена.127].

Лаборатория исследований грунтов находится на первом этаже здания АО «ТомскНИПИнефть» и имеет прямой доступ к пожарному выходу. В случае возникновения чрезвычайной ситуации, сотрудники проинструктированы о действиях, что свидетельствует об обеспечении организацией безопасности здоровья и жизни человека при возникновении чрезвычайной ситуации (ядерной опасности, в том числе).

Организацией ежегодно проводится комплекс обучающих занятий по пожарной безопасности, среди которых учения по эвакуации в случае пожара, обучение по тушению пожара, эксплуатации огнетушителя и др. Также, в АО

«ТомскНИПИнефть» имеется ответственный за противопожарную безопасность, проводящий систематический инструктаж всех сотрудников по пожарной безопасности и контролирующий соблюдение требований техники безопасности на рабочих местах.

Выводы по разделу. При проведении лабораторных работ по определению физических и коррозионных свойств грунтов необходимо руководствоваться законодательными и нормативными актами Российской Федерации, государственными стандартами, сводами правил, а также нормами техники безопасности предприятий.

Соблюдение техники безопасности труда при проведении лабораторных работ по изучению грунтов является неотъемлемой частью всего комплекса работ.

Следует отметить, что несоблюдение техники безопасности может привести к негативным последствиям для здоровья и жизни человека.

Каждая организация уделяет особое внимание на соблюдение норм и правил, а также социальную поддержку работников.

Заключение

В результате работы была дана оценка коррозионных свойств грунтов месторождений Тюменской области: Чупальское, Мамонтовское, Восточно-Сургутское, Петелинское, Среднебалькское. На данных территориях распространены грунты с высокой коррозионной активности – глины, средней – суглинки и супеси с низкой коррозионной активностью.

Для исследованных территорий был проведен анализ зависимостей удельного электрического сопротивления от физических свойств грунтов. Определено, что наибольшая зависимость УЭС прослеживается от влажности и содержания глинистых частиц.

В ходе экспериментальной части оценили воздействие биологической коррозии в процессах разрушения металлов, находящихся в грунте. А также выявили повышение биокоррозии при добавлении нефти в исследуемый грунт, который связан с ростом СВБ и нефтеокисляющих бактерий.

Список литературы

1. Whitman W.G. The Acid Corrosion of Metals Effect of Oxygen and Velocity / W.G. Whitman, R.P. Russell // Industrial and Engineering Chemistry. – 1925. – Vol. 4. – P. 346-348.
2. Crace-Calvert F. Experiments on the Oxidation of Iron / F. Crace-Calvert // Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester. – 1876. – Vol. 5. – P. 104-114.
3. Howard R.S. The Corrosion of Iron and Its Alloys / R.S. Howard. – Illinois :University of Illinois, 1910. – 84 pp.
4. Davis W.A. The Rusting of Iron / W.A. Davis // Science Progress in the Twentieth Century. – 1907. – Vol.1, № 3. – P. 408-419.
5. Newton J.A. A colloid theory of the corrosion and passivity of iron, and of the oxidation of ferrous salts / J.A. Newton // J. Chem. Soc. Trans. – 1921. – Vol. 119. – P. 932-949.
6. Matijevic E. Colloid chemical aspects of corrosion of metals / E. Matijevic // Pur &Appl. Chem. – 1980. – Vol. 52. – P. 1179-1193.
7. Virtanen S. Electrochemical Theory Corrosion / S. Virtanen // Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. – 2009. – P. 56-63.
8. Watts O.P. The Electro-Chemical Theory of Corrosion / O.P. Watts // Journal of the American Society for Naval Engineers. – 1933. – Vol. 45, Iss. 4. – P. 537-543.
9. Marcus P. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice (3rd Edition) / P. Marcus. – Florida: CRC Press, 2012. – 941pp.
10. Romanoff M. Underground corrosion. National Bureau of Standards (Circular 579) / M. Romanoff; NACE International: Houston, 1989. – ISBN: 0-915567-47-4.
11. Romanoff M. Performance of steel piling in soils / M. Romanoff; NACE; Houston, 1969. – Paper No. 82.
12. Великоцкий М. А. Коррозионная активность грунтов в различных природных зонах / М.А. Великоцкий // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2010.– №1. –С. 21-27.
13. СТО Газпром 2-3.5-252-2008 Стандарт организации Методика продления срока безопасной эксплуатации магистральных газопроводов ОАО «Газпром» - Введ. - 2009-04-15.
14. Виноградова С.С. Комплексная оценка коррозионной агрессивности грунтов участка магистрального нефтепровода / С.С. Виноградова, А.А. Зигангирова, И.А. Щербаков // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – №18. – С. 30-34.
15. Electrochemical measurements used for assessment of corrosion and protection of metallic materials in the field: A critical review / D.-H. Xia, C.-M. Deng, D.

Macdonald [et al] // Journal of Materials Science and Technology. – 2022. – Vol. 112. – P. 151-183.

16. Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: Characterisation of the corrosion system / D. Neff, P. Dillmann, L. Bellot-Gurlet [et al] // Corrosion Science. – 2005. – Vol. 47, №2. – P. 515-535.

17. Critical review: Microbially influenced corrosion of buried carbon steel pipes / K.M. Usher, A.H. Kaksonen, I. Cole [et al] // International Biodeterioration and Biodegradation. – 2014. – Vol. 93. –P. 84-106.

18. Factors influencing corrosion of metal pipes in soils / M. Wasim, S. Shoaib, M. Mujawar [et al] // Environmental Chemistry Letters. – 2018. – Vol. 16, № 3. – P. 861-879.

19. Methods to evaluate corrosion in buried steel structures: A review / L. Arriba-Rodriguez, J. Villanueva-Balsera, F. Ortega-Fernandez [et al] // Metals. – 2018. – Vol. 8, № 59. – article number 334.

20. Polutrenko M. Influence of soil microorganisms on metal corrosion of underground pipelines / M. Polutrenko // Koroze a Ochrana. – 2018. – Vol. 62, № 2. – P. 65-70.

21. Characterization of microbiologically influenced corrosion by comprehensive metagenomic analysis of an inland oil field / B. Nasser, Y. Saito, M. Alarawi [et al] // Gene. – 2021. – Vol 77430. – article number 145425.

22. Ximing L. Synergistic Effect of Carbamide and Sulfate Reducing Bacteria on Corrosion Behavior of Carbon Steel in Soil / L. Ximing, S. Cheng // International Journal of Corrosion. – 2018. – Vol. 2018. – article number 7491501.

23. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: введен 01.04.2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200126371> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

24. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: введен 01.07.2015. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116021> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

25. ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии: введен 01.06.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140210> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

26. Кузнецов С.И. Введение в геологическую микробиологию/ С.И. Кузнецов, М.В. Иванов, Н.Н. Ляликова.– М.: Недра, 1963.– 230 с.

27. Кузнецов С.И. Микробиологическое изучение внутренних водоемов/ С.И. Кузнецов, В.И. Ромаренко. – М. -Л.:Изд-во АН СССР, 1963 г. – 130 с.

28. Практикум по микробиологии / Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. [и др.]. – М.: АCADEMA, 2005. – 603 с.

29. Родина А.Г. Методы водной микробиологии (практическое руководство) / А.Г. Родина. – М.-Л.: Наука, 1965. – 363 с.

30. Технический отчет о выполнении инженерно-геологических изысканиях Чупальского месторождения для подготовки рабочей документации; АО «ТомскНИПИнефть». – Томск, 2021 г.
31. Технический отчет о выполнении инженерно-геологических изысканиях Восточно-Сургутского месторождения для подготовки рабочей документации; АО «ТомскНИПИнефть». – Томск, 2021 г.
32. Технический отчет о выполнении инженерно-геологических изысканиях Среднебалькского месторождения для подготовки рабочей документации; АО «ТомскНИПИнефть». – Томск, 2021 г.
33. Технический отчет о выполнении инженерно-геологических изысканиях Мамонтовского месторождения для подготовки рабочей документации; АО «ТомскНИПИнефть». – Томск, 2021 г.
34. Технический отчет о выполнении инженерно-геологических изысканиях Петелинского месторождения для подготовки рабочей документации; АО «ТомскНИПИнефть». – Томск, 2021 г.
35. Ландшафтные зоны и провинции Западно-Сибирской равнины: сайт. – Москва. – URL: http://ecosystema.ru/08nature/world/geoussr/2_2.html (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
36. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология / Госстрой России. – Взамен СНиП 23-01-99* : введен 01.01.2013. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294849/4294849698.pdf> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
37. Р-43 (Сургут). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Карта плиоцен-четвертичных образований. Западно-Сибирская серия: сайт. – Москва. – URL: <https://www.geokniga.org/maps/7939> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
38. Коновалов П.А. Устройство фундаментов на заторфованных грунтах / П.А. Коновалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 162 с.
39. СП 115.13330.2016 Свод Правил Геофизика Опасных Природных Воздействий : введен 17.06.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054202> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
40. Геология СССР: Т. 14. Западная Сибирь Ч. 1. Геологическое описание/ М-во геологии СССР; ред. А. В. Сидоренко. – М.: Недра, 1967. – 664 с.
41. СП 86.1330.2014 Свод Правил. Магистральные Трубопроводы : введен 01.06.2014. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293771/4293771288.pdf> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
42. ВСН 26-90 Инструкция по Проектированию и Строительству Автомобильных Дорог Нефтяных и Газовых Промыслов Западной Сибири / Минтрансстрой: введен 01.01.1991. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851149.htm> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
43. СП 22.13330.2016 Свод Правил. Основания Зданий И Сооружений введен 16.12.2016. – Москва : Минстрой, 2016. – 226 с.

44. Relationship between soil properties and corrosion of carbon steel / M.N. Norhazilan, Y. Nordin, K.S. Lim [et al] // *J. Appl. Sci. Res.* – 2012. – Vol. 8. – article number 3.
45. Ahammed M. Probabilistic estimation of remaining life of a pipeline in the presence of active corrosion defects / M. Ahammed // *Int. J. Press. Vessels Pip.* – 1998. – Vol.75. – P. 321–329.
46. Doyle G. The Role of Soil in the External Corrosion of Cast Iron Water Mains in Toronto, Canada / G. Doyle, M.V. Seica, M.W. Grabinsky // *Can. Geotech. J.* – 2003. –Vol. 40. – P. 225–236.
47. Hembara, O.V. Effect of hydrogenation of the walls of oil-and-gas pipelines on their soil corrosion and service life / O.V. Hembara, O.E. Andreikiv // *Mater. Sci.* – 2012. – Vol. 47. – P. 598–607.
48. Scheweitzer P.A. *Corrosion Engineering Handbook: Fundamentals of Metallic Corrosion* (2nd ed.) / P.A. Scheweitzer. – Abingdon: Taylor and Francis Group, 2006. – 752 pp.
49. Study on alternative approaches to corrosion protection of ballast tanks using an economic model / K. De Baere; H. Verstraelen, P. Rigo [et al] // *Mar. Struct.* – 2013. Vol. 32. – P. 1–17.
50. Revie, R.W.; Uhlig, H.H. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, 4th ed.; John Wiley & Sons. – NJ: Hoboken, , 2008.
51. Papadakis G.A. Major hazard pipelines: A comparative study of onshore transmission accidents / G.A. Papadakis // *J. Loss Prev. Process Ind.* – 1999. Vol. 12. – P. 91–107.
52. The use of GIS to develop a probability-based trunk main burst risk model / N.R. Cooper, G. Blakey, C. Sherwin [et al]// *Urban Water.* – 2000. – Vol. 2. P. 97–103.
53. Kleiner Y. Comprehensive review of structural deterioration of water mains: Statistical models. / Y. Kleiner, B. Rajani // *Urban Water.* – 2001. – Vol. 3. – P. 131–150.
54. Prediction of CO₂ corrosion growth in submarine pipelines / N. Yahaya, N.M. Noor, M.M. Din // *Malays. J. Civ. Eng.* – 2009. – Vol. 21. – P. 69–81.
55. Restrepo C.E. Causes, cost consequences, and risk implications of accidents in US hazardous liquid pipeline infrastructure / C.E. Restrepo, J.S. Simonoff, R. Zimmerman // *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.* – 2009. –Vol. 2. – P. 38–50.
56. ArcelorMittal Europe—Long Products. Sections and Merchant Bars. Corrosion Protection of Rolled Steel Sections Using Hot-Dip Galvanization: сайт. – Luxembourg. – URL: http://constructalia.arcelormittal.com/files/Corrosion_EN--e76d086608bf6809dc3b229b551ca70e.pdf (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
57. Rim-Rukeh, A.; Awatefe, J.K. Investigation of soil corrosivity in the corrosion of low carbon steel pipe in soil environment / A. Rim-Rukeh, J.K. Awatefe // *J. Appl. Sci. Res.* – 2006. – Vol. 2. – P. 466–469.

58. Characterization of Corrosion Products on Weathering Steel Bridges Influenced by Chloride Deposition / V. Krivy, M. Kubzova, K. Kreislova [et al] // *Metals*. – 2017. – Vol. 7. – article number 336.
59. Norsworthy R. Understanding corrosion in underground pipelines: basic principles / R. Norsworthy // *Underground Pipeline Corrosion*. – Netherland :Elsevier, 2014. – pp 3-34.
60. An artificial intelligence approach for thermodynamic modeling of geothermal based-organic Rankine cycle equipped with solar system / A. Khosravi, S. Syri, X. Zhao [et al] // *Geothermics*. – 2019. – Vol. 80. – P. 138-154.
61. Escalante E. Concepts of underground corrosion. In *Effects of Soil Characteristics on Corrosion* / E. Escalante. – Philadelphia :ASTM International, 1989. – pp. 81-95.
62. The complementary use of IDEF and UML modelling approaches / C.-H. Kim, R.H. Weston, A.Hodgson // *Computers in industry*. – 2003. – Vol. 50,№1. – P. 35-56.
63. An effective approach for probabilistic lifetime modelling based on the principle of maximum entropy with fractional moments / X. Zhang, W. He, Y. Zhang [et al] // *Applied Mathematical Modelling*. – 2017. – Vol. 51. – P. 626-642.
64. Petersen, R.; Melchers, R., Long-term corrosion of cast iron cement lined pipes / R .Petersen, R. Melchers, // *Corrosion and Prevention*. – 2012 – Vol. 10. – article number 23.
65. Selwyn L. Models for chloride ion diffusion in archaeological iron / L. Selwyn, W. McKinnon, V. Argyropoulos // *Studies in conservation*. – 2001.– Vol. 46, № 2. – P. 109-120.
66. Tomashov N.D. Passivation of Metals by Contact with Cathodes. In *Passivity and Protection of Metals Against Corrosion* / N.D. Tomashov, G.P. Chernova – New York :Springer,1967. – pp. 151-179.
67. Introduction of the leak-before-break (LBB) concept for cast iron water pipes on the basis of laboratory experiments / S. Rathnayaka, B. Shannon, C. Zhang // *Urban Water Journal*. – 2017. – Vol. 14, № 8. – P. 820-828.
68. Hudson J.C. Tests on the Corrosion of Buried Ferrous Metals / J.C. Hudson, T.A. Banfield, H.A. Holden // *J. Iron Steel Inst*. – 1942. – Vol. 146. – article number 107.
69. Parker M.E. Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection: A Practical Manual for Corrosion Engineers, Technicians, and Field Personnel / M.E. Parker, E.G. Peattie. – Houston :Gulf Professional Publishing, 1984. – 176 pp.
70. Logan K.H. The Bureau of Standards soil-Corrosion investigation / K.H. Logan, M. Coe, W.W. Brush, // *J. Am. Water Works Assoc*. – 1929. – Vol. 21. – P. 311–317.
71. Osella A. Currents induced by geomagnetic storms on buried pipelines as a cause of corrosion / A. Osella, A. Favetto, E. López // *J. Appl. Geophys*. – 1998. – Vol. 38. – P. 219–233.
72. Anoxic Corrosion Behavior of Pipeline Steel in Acidic Soils / M. Yan, C. Sun, J. Xu [et al] // *Ind. Eng. Chem. Res*. – 2014. – Vol. 53. – P. 17615–17624.

73. Burstein, G.T.; Shrir, L.L.; Jarman, R.A. Corrosion 2 Volume Set(3rd ed) / G.T. Burstein, L.L. Shrir, R.A. Jarman. – Oxford :Butterworth-Heinemann, 1994. – 176 pp.
74. Jeannin, M.; Calonnec, D.; Sabot, R. Role of a clay sediment deposit on the corrosion of carbon steel in 0.5 mol L⁻¹ NaCl solutions / M. Jeannin, D. Calonnec, R. Sabot [et al] // Corros. Sci. – 2010. – Vol. 52. – P. 2026–2034.
75. Ismail A.I.M. Engineering behavior of soil materials on the corrosion of mild steel / A.I.M. Ismail, A.M. El-Shamy // Appl. Clay Sci. – 2009. – Vol. 42. – P. 356–362.
76. Jones D.A. Principles and Prevention of Corrosion / D.A. Jones. – New York :McMillan, 1992. – 952 pp.
77. Ternary Diagram of the Soil Composition, Redrawn from the USDA: сайт. – USA. – [URL:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SoilTexture_USDA.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SoilTexture_USDA.png) (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
78. Gupta S.K.. The critical soil moisture content in the underground corrosion of mild steel / S.K. Gupta, B.K. Gupta, // Corros. Sci. – 1979. – Vol. 19. – P. 171–178.
79. Corrosion of Galvanized Steel under Different Soil Moisture Contents / R.F.C. Pereira, E.S.D. Oliveira, M.A.G.A. Lima [et al] // Mater. Res. – 2015. – Vol. 18. – P. 563–568.
80. Fiedler, S.; Veparskas, M.; Richardson, J.L. Soil Redox Potential: Importance, Field Measurements, and Observations, in Advances in Agronomy / S. Fiedler, M. Veparskas, J.L. Richardson. – Cambridge :Academic Press, 2007. – Vol. 94. – pp. 1–54.
81. New Technique for Studying Soil-Corrosion of Underground Pipeline / N. Yahaya, N.M. Noor, S.R. Othman [et al] // J. Appl. Sci. – 2011. – Vol. 11. – P. 1510–1518.
82. Oguzie E.E. Monitoring the corrosion susceptibility of mild steel in varied soil textures by corrosion product count technique / E.E. Oguzie, I.B Agochukwu, A.I Onuchukwu // Materials Chemistry and Physics. – 2004. Vol. 84,№1. – P.1-6.
83. Tiba, T.; De Oliveira, E.M. Utilization of cathodic protection for transmission towers through photovoltaic generation / T. Tiba, E.M. De Oliveira // Renew. Energy. – 2012. – Vol. 40. – P. 150–156.
84. Fundamental Aspects of Stray Current Corrosion on Buried Pipeline / Q.J. Zhu, A. Cao, Z.F. Wang [et al] // Adv. Mater. Res. – 2011. – Vol. 146–147. – P. 70–74.
85. Palmer J.D. Environmental Characteristics Controlling the Soil Corrosion of Ferrous Piping. In Effects of Soil Characteristics on Corrosion / J.D. Palmer. – West Conshohocken: ASTM International, 1989. – 5-18.
86. GIS for the planning of electrical earthing / J.P. Busby, D. Entwisle, P.A. Hobbs [et al] // Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. – 2012. – Vol. 45. – P. 379–390.
87. Wenner F. A method for measuring Earth resistivity / F. Wenner // J. Wash. Acad. Sci. – 1915. – Vol. 5. – P. 561–563.

88. Evaluation of the corrosivity of the soil through its chemical composition / C.A.M. Ferreira, J.A. Ponciano, D.S. Vaitsman [et al] // *Sci. Total Environ.* – 2007. – Vol. 388. – P. 250–255.
89. Хващевская А.А. Аналитические методы оценки агрессивности природных вод и грунтов к строительным материалам и конструкциям: учебное пособие / А.А. Хващевская, Ю.Г. Копылова, Р.Ф. Зарубина. – Томск : Изд-во ТПУ, 2012. – 112 с.
90. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
91. Московин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Московин, Ф.М. Иванов, и др; под общ. ред. В.М. Московина. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.
92. Кугушин А.А. Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кугушин, И.Г. Узлов, В.В. Калмыков, и др. – М. : Изд-во Металлургия, 1986. – 272 с.
93. Глинка Н.Л. Общая химия. 24-е изд. / Н.Л. Глинка. – Л. : Химия, 1985. – 702 с.
94. Домокеев А.Г. Строительные материалы / А.Г. Домокеев. – М. : Высшая школа, 1988. – 495 с.
95. Розенталь Н.К., Розенталь А.Н., Любарская Г.В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя // *Бетон и железобетон.* – Москва, 2012. – с. 50-60.
96. Королёв В.А. Агрессивность грунтов и методы ее оценки. – Гидрогеология и инженерная геология: обзор / В.А. Королёв, Л.А. Цуканов. – М. : АОЗТ “Геоинформмарк”, 1995. – 46 с.
97. Soriano C. Corrosion behavior of galvanized steel due to typical soil organics / C. Soriano, A. Alfantazi // *Constr. Build. Mater.* – 2016. – Vol. 102. – P. 904–912.
98. Corrosion of iron archaeological artefacts in soil: Estimation of the average corrosion rates involving analytical techniques and thermodynamic calculations / D. Neff, P. Dillmann, M. Descostes [et al] // *Corros. Sci.* – 2006. – Vol. 48. – P. 2947–2970.
99. Fleming H.C. Economical and technical overview. In *Microbiologically Influenced Corrosion of Materials* // E. Heitz, H.C. Fleming, W. Sand. – New York : Springer-Verlag:, 1996. – pp. 6–14.
100. Microbial Corrosion in Petroleum Product Transporting Pipelines / S. Maruthamuthu, B.D. Kumar, S. Ramachandran [et al] // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2011. – Vol. 50. – P. 8006–8015.
101. Bastin E.S. The Problem of the Natural Reduction of Sulphates / E.S. Bastin // *AAPG Bull.* – 1926. – Vol. 10. – P. 1270–1299.
102. Beech I.B. Recent advances in the study of biocorrosion: An overview / I.B. Beech, C.C. Gaylarde // *Rev. Microbiol.* 1999. – Vol. 30. – P. 117–190.
103. Microbiological corrosion of pipeline steel under yield stress in soil environment / T. Wu, J. Xu, C. Sun [et al] // *Corros. Sci.* – 2014. – Vol. 88. – P. 291–305.

104. Effect of *Geobacter sulfurreducens* on the microbial corrosion of mild steel, ferritic and austenitic stainless steels / M. Mehanna, R. Basséguy, M.L. Délia [et al] // *Corros. Sci.* – 2009. – Vol. 51. – P. 2596–2604.
105. Von Wolzogen Kuhr C.A.H. Anaerobic corrosion / C.A. H. von Wolzogen Kuhr, I.S. van der Vlugt // *Water.* – 1934. - Vol. 18. – article number. 147165.
106. Li, S.Y.; Kim, Y.G.; Jeon, K.S. Microbiologically Influenced Corrosion of Carbon Steel Exposed to Anaerobic Soil / S.Y. Li, Y.G. Kim, K.S. Jeon [et al] // *Corrosion.* – 2001. – Vol. 57. – P. 815–828.
107. Коррозия. Горная энциклопедия: сайт. – Москва. – URL:<http://www.mining-enc.ru/k/korroziya/> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
108. Улиг Г.Г. Коррозия и методы борьбы с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Г.Г. Улиг, Р.У. Реви. Пер. с англ. / Под ред. А.М. Сухотина. – Л. : Химия, 1989. – Пер. изд., США, 1985. – 456 с.
109. Федорченко В.И. Коррозия металлов: учебное пособие / В.И. Федорченко. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 127 с.
110. Агинец Р.В. Разработка методов повышения эффективности противокоррозионной защиты объектов газотранспортной системы : автореф. дис. д-ра техн. н. / Р.В. Агинец. – Ухта, 2009. – 45 с.
111. СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 3.03.11-85: введен 28.08.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069587> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
112. ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости (с Изменением N 1): введен 01.01.1987 – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007383> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
113. Дизенко Е.И. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров: учебное пособие / Е.И. Дизенко, В.Ф. Новоселов, и др. – М. : Изд-во «Недра», 1978. – 199 с.
114. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. – М. : «Машиностроение», 1991. – 384 с.
115. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Учебное пособие, 2-е издание / Н.П. Жук. – М. : «Альянс», 1976. – 472 с.
116. Микробиологическая коррозия металлов и защита от нее / Е.Л. Пехташева, А.Н. Неверов, Г.Е. Заиков [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2012. – №5. – С. 131-133.
117. Андреева Д.Д. Коррозионно-опасная микрофлора нефтяных месторождений / Д.Д. Андреева, Р.З. Фахрутдинов // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2013. – №10. – С. 237-242.
118. Соколова Т. С. Влияние тионовых бактерий на коррозию стали / Т.С. Чоколова, В.Д. Коновалова // *Вестник ПНИПУ.* – 2017. – №2. – С. 7-19.
119. Биокоррозия стальных конструкций / В.М. Кушнаренко, Ю.А. Чирков, В.С. Репях [и др.]// *Вестник ОГУ* – 2012. – №6 – С. 160-164.

120. Андреюк Е.И. Микробиологическая агрессивность грунтов / Е.И. Андреюк, И.А. Козлова // Биоповреждения. Методы защиты : доклады конференции. – 1985. – С. 209-222.
121. Звягинцев Д.Г. Адгезия микроорганизмов и биоповреждения / Д.Г. Звягинцев // Биоповреждения. Методы защиты: тезисы докладов конференции. – 1985. – С. 12–19.
122. Анисимов А.А. Ферменты мицелиальных грибов как агрессивные метаболиты / А.А. Анисимов, М.С. Фельдман, Л.Б. Высоцкая // Биоповреждения в промышленности : межвузовский сборник. – 1985. – С. 3–19.
123. Могильницкий Т.М. Микрофлора грунтов и методы изучения биостойкости подземных трубопроводов / Т.М. Могильницкий, С.В. Жукова, Т.А. Сапожникова // Матер. Всесоюзного науч.-техн. семинара. М. : ВНИИОЭНГ, 1980. – 184 с.
124. Федеральный закон от 28.12.2013 №426 - ФЗ (ред. От 01.05.2016). О специальной оценке условий труда/ Собрание законодательства Российской Федерации, N 52 (ч.1), 30.12.2013, ст.6991.
125. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования: введен 01.01.1982. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200234> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
126. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: введен 01.03.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
127. ГОСТ 12.1.019 -2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты: введен 01.01.2019. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
128. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: введен 01.07.1983. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
129. ПУЭ. Правила устройства электроустановок: введен 08.07.2002. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/7/7177/index.htm> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
130. ГОСТ 12.1.045-84. Электрические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля: введен 01.07.1985. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
131. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности: введен 01.01.1992. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901702428> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.
132. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: введен 01.08.2003. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200032102> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

133. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: введен 28.01.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

134. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение: введен 08.05.2017. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

135. СанПиН 2.2.2/2.4.10-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: введен 13.06.2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

136. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: введен 28.01.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

137. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1): введен 01.07.1982. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200289> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

138. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности: введен 01.11.2015. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200289> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

139. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей: введен 01.01.1989. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

140. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: введен 01.11.2005. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

141. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация: введен 01.07.1981. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200292> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

142. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация: введен 01.07.1990. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000277> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

143. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства: введен 15.08.1997. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

144. Федеральный закон от 10.01.2002 г. №123 – ФЗ. Об охране окружающей среды (с изменениями на 26 марта 2022 года) / Сборник законодательства Российской Федерации, N 2, 14.01.2002, ст.133

145. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, издание официальное: введен 28.01.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

146. ГОСТ 17.1.3.13–86 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений: введен 01.06.1986. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003200> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

147. ГОСТ Р 59070-2020 Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения: введен 01.04.2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566320447> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

148. Федеральный закон от 24.06.1998 г. №89 – ФЗ. Об отходах производства и потребления/ Собрание законодательства Российской Федерации, N 26, 29.06.98, ст.3009.

149. Федеральный закон от 21.12.1994 N 69 – ФЗ. О пожарной безопасности/ законодательства Российской Федерации, 1994, N 35, ст.3649.

150. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности/ Собрание законодательства Российской Федерации, N 30, 28.07.2008, (ч.1), ст.3579.

151. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1): введен 01.05.2009. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

152. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности/ Собрание законодательства Российской Федерации, N 30, 28.07.2008, (ч.1), ст.3579.

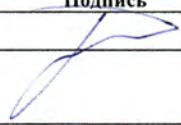
153. ГОСТ 12.4.009-83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание: введен 01.01.1985. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003611> (дата обращения: 19.05.2022). – Текст : электронный.

154. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования: введен 01.07.2003. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 19.05.1992). – Текст : электронный.

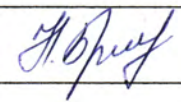
Приложение А

Underground corrosion protection methods


Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2BM01	Михайлова Вероника Владимировна		30.05.2022

Консультант школы отделения (геологии) ИШПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бракоренко Наталья Николаевна	к. г.-м. наук, доцент		30.05.2022

Консультант – лингвист отделения (ОИЯ) школы ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Болсуновская Людмила Михайловна	к. фил. н., доцент		30.05.2022

As a result of the investigation data were obtained characterizing the corrosion properties of soils. In this regard, recommendations are needed to reduce the corrosive activity of soils. The paper notes the main ways to protect underground pipelines from the aggressive effects of soils:

- 1) application of insulating coatings
- 2) application of cathodic protection
- 3) application of tread protection
- 4) stray current protection
- 5) application of corrosion inhibitors

1. Application of insulating coatings

A sufficiently large ohmic resistance is an insulating coating that separates the surface of a metal structure from the soil electrolyte [1]. In addition, the polarization resistance of the cathode in the presence of insulation increases, and the strength of the corrosion current decreases, therefore, the protection of the structure by external current can be achieved at lower energy costs. Thus, the efficiency of electrochemical protection increases. It is necessary to take into account a number of requirements for coatings used to protect underground pipelines.:

- prevent metal contact with electrolytes. The coating must be waterproof and not allow the soil to saturate with moisture;
- coating must be continuous in order to exclude the appearance of bare parts of the pipeline and, as a result, elements of corrosion.;
- adhesive strength of the coating must be high, withstand high values of mechanical stress to eliminate the invasion of the electrolyte;
- coating must be chemical resistant to increase the service life even in the most aggressive conditions;
- some components of the coating should not participate in the cathodic process in order to avoid destruction of the pipeline insulation;
- the coating must have high mechanical strength sufficient for laying and insulating work with the pipeline;

- increased heat resistance, which is determined by the softening temperature of the coating. This is important for "hot" pipelines, especially when carrying out insulation work in winter.;
- high dielectric properties that increase resistance to the occurrence of corrosive elements on the surface of the pipeline;
- cost-effectiveness (the cost of coating should be many times less than the cost of construction);
- non-deficiency;
- the possibility of mechanizing the process of applying an insulating coating.

1.1 Insulating coatings based on bitumen mastics

To isolate the main underground pipelines and branches from them, bituminous mastics are used, which, depending on the nature of the filler used in their manufacture, can be divided into bitumen-rubber, bitumen-polymer and bitumen-mineral. Bituminous mastics are recommended to be used for insulation of steel pipelines with a diameter of not more than 820 mm with a temperature of the transported product not higher than 40 °C. For applying bituminous coatings using existing technological methods, the original petroleum bitumen is unsuitable due to its low viscosity in the molten state, low softening temperature and low mechanical strength, therefore, bituminous mastics (bitumen and filler) with increased viscosity in the molten state are used as protective coatings. For the preparation of mastic, bitumen grades BN 90/10, BN 70/30 can be used. The characteristics of bitumen, corresponding to the characteristics of BNI-IV bitumen, can be obtained by mixing a more refractory component with bitumen, which has a lower softening temperature.

To increase the structural strength and viscosity, special active substances are introduced into the composition of bitumens - fillers, the particles of which are, as it were, centers of structure formation and impart certain properties to the material. There are the following types of fillers:

- mineral: finely ground rocks (dolomized limestone of medium density, asphalt limestone, dolomite), asbestos (a mineral with a fibrous structure) of the 6th and 7th grades of dry fluff;
- organic: crumb rubber no larger than 1 mm (a product of processing used car tires with a textile content limit of up to 5% and metal particles up to 0.1%);
- polymeric: unstabilized powdered polyethylene, atactic polypropylene, etc.

Numerous studies have established that the particles of mineral filler under the conditions of electrochemical protection are negatively charged and carried to the surface of the coating, moving towards the anode, so the use of mineral fillers in the insulation of main pipelines is limited. A very valuable quality of bitumen-rubber mastic is its high viscosity in the molten state, which makes it possible, if necessary, to apply reinforced insulation 6 mm thick to the pipeline in one pass of the insulating machine. The addition of a filler to the original bitumen significantly increases the softening point of bituminous mastics: it rises by 1.5–2°C from each percent of rubber crumb with a mass fraction of it in the mastic up to 7% and by 3–4°C from each percent of the crumb with a mass fraction from 8 to 12% - The introduction of 30% ground limestone increases the softening point by 9 ° C (0.3 ° C from each percentage of the filler). Up to 7% asbestos can be introduced into bitumen-rubber mastic instead of 3% rubber crumb.

Pipe insulation begins with the application of a primer layer. The purpose of the primer, that is, the first layer of insulation, often called a primer, is to provide the necessary adhesion between the metal and the main layer of the bituminous coating. As you know, the surface of the metal has some roughness. If a hot bitumen coating is applied to such a surface, then after contact with a metal colder than bitumen, it will quickly harden and will not fill all surface irregularities, i.e., the adhesion of bitumen to metal will decrease. To improve adhesion, a layer of primer is preliminarily applied to the metal surface, which, having a liquid consistency and being cold, completely fills all the irregularities. The first layer of bituminous mastic is applied to the dried primer, which, having melted the primer layer, will tightly connect with it, and, consequently, with the metal surface.

Insulating coatings are usually applied over a dry primer. In some cases, it is allowed to apply bituminous mastic on a primer that is not completely dry (if it comes off when pressed with a finger). It is not allowed to apply insulating coating during snowfall, rain, fog, strong wind and dust. When applying insulating coatings to the pipeline at an air temperature below 30 °C, the operating temperature of the bituminous mastic should be 160–180 °C, at an air temperature above 30 °C–150 °C. air temperature above +20°C, the mastic temperature can be reduced to 140°C with a mandatory check of the adhesion of the coating to the metal. After the elimination of insulation defects, the pipeline laid in the trench should be covered with soil during the working shift, but not later than 1 day.

1.2 Insulating coatings based on polymeric sticky tapes

Polymeric insulating coatings designed to protect underground pipelines from corrosion are made of a primer layer and one to three layers of adhesive polymer tape. To protect insulation from adhesive tapes from mechanical damage when laying pipelines in rocky and stony soils, in swamps, underwater crossings, under railways and roads, protective wrappers from one or two layers of rolled material are additionally applied to the insulating coating with obligatory gluing with hot bituminous mastic, glue or other secure fastening of the ends of the wrapping material. Adhesive or bitumen-adhesive primers are used for coatings made of polymeric tapes.

Before applying the polymer tape, it is necessary to carefully prime the area of straight and spiral seams. Polymeric tape should be applied to the pipeline immediately after the primer has dried to a “tack free” using serial insulating machines. The width of the polymer adhesive tape for pipeline insulation is recommended to be taken equal to 0.5–0.7 of the pipe diameter. To do this, rolls of tape produced by the manufacturer in accordance with the specifications with a width of 450-500 mm, for pipes with a diameter of 529 mm or less, should be cut on the machine. When installing normal-type coatings, it is necessary to ensure that the overlap is at least 2–2.5 cm. To obtain a reinforced type coating, two spools of an insulating machine are used: the same angle and taken out from the lantern wheel to the width of the roll of adhesive tape) - a

protective wrapper. To obtain coatings of a very reinforced type, with the help of one spool, an adhesive tape is applied with an overlap of two-thirds, the other - a protective wrap with an overlap of 2-2.5 cm. When applying adhesive tapes, care must be taken to ensure that no folds, wrinkles or bubbles form on the coating. If defects are found, the tape must be removed from the pipeline and rewound after the defect has been eliminated. In the zone of longitudinal and transverse welds, small air gaps between the pipe and the coating are allowed. To protect insulation from polymer tapes from mechanical damage, wraps from one layer of rolled material are additionally applied to the insulating coating of pipelines with a diameter of 1020 mm or more; with smaller diameters, such wraps are made on pipelines laid in rocky, gravel, dry lumpy, clay and loamy soils, as well as in swamps.

1.3 Continuity control of insulating coatings of completed pipeline sections

The quality control of insulating coatings of pipeline sections completed by construction, i.e., covered with soil, is carried out by the method of cathodic polarization. Checking the integrity of the insulation should be provided for by the construction project and be carried out on sections of pipelines up to 40 km long, laid in all soils (with the exception of stony, frozen and dry soils with a specific electrical resistance of more than 1000 Ohm*m). The insulation control circuit is shown in fig. 1.

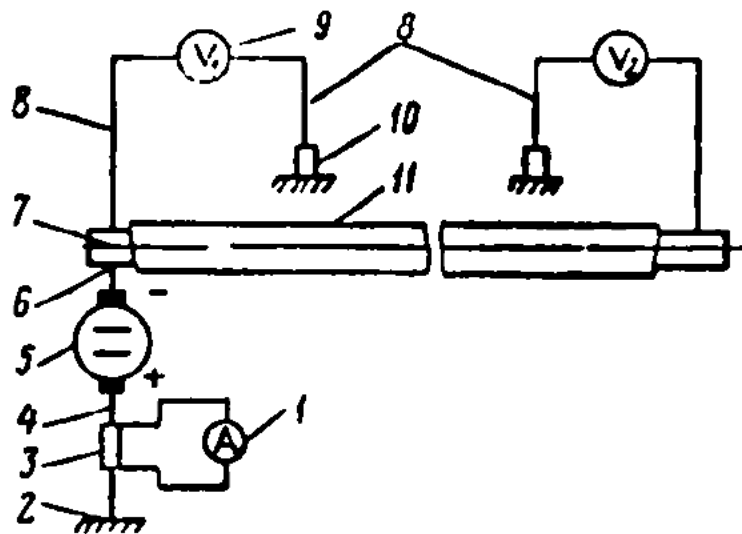


Figure 1– Schematic diagram of connecting an experimental cathode station and measuring instruments when testing the insulating coating of an underground pipeline

The cathodic polarization of the pipeline section is carried out by turning on any DC source of sufficient power (“minus” - to the pipeline, “plus” - to the anode ground). The required power of a DC source (in kW) can be approximately determined by the formula:

$$P=0.0015IR_a \quad (1)$$

where I - current strength, determined by the nomograms of Fig. 2, A ;R - resistance to current spreading from the anode ground, Ohm.

Anode grounding of an experimental cathode installation must be installed in wet soils at a distance of 300–500 m from pipelines. Substandard pipes with a diameter of 25–50 mm and a length of 1.5–2.5 m can be used as electrodes, which are driven into the ground to a depth of 1–1.5 m at a distance of 3–5 m from each other. It is most rational to use screw electrodes as temporary anode grounding, which are metal rods with a diameter of 20 mm and a length of 1850 mm, on one side of which a metal tape (screw) is wound in a spiral and welded with a pitch of 40 mm. The length of the screw part of the electrode is 1000 mm, diameter 50 mm, weight 8 kg. The resistance to current spreading from a helical electrode in soils with a specific electrical resistance of 20 ohm • m is 8-12 ohms. By installing several helical electrodes, one can significantly reduce the spreading resistance of temporary anode grounding and thereby reduce the required power of a direct current source for cathodic polarization of a pipeline section.

Preparation of the pipeline section (it must be isolated from neighboring sections and should not have any jumpers with other metal structures) and equipment. The assessment of insulation continuity is carried out according to the current strength as a function of the "pipe-to-soil" contact resistance, which, in turn, depends on the area of exposure of the controlled section of the pipeline. The transition resistance of the insulation in the controlled section of the pipeline must be at least 10,000 Ohm•m². Only in this case, the isolation of the pipeline section is accepted by the representative of the Directorate of the pipeline under construction. The current strength for monitoring the integrity of the insulation is determined depending on the length and diameter of the controlled pipeline according to the nomogram (fig. 2). The condition of the insulating coating is assessed as satisfactory if the displacement of the potential difference "pipe-

soil" is not less than 0.4 V in absolute value (at the end of the section with a length of more than 4 km) and -0.7 V (at the beginning of the section with a length of less than 4 km). The displacement of the potential difference is calculated as the difference between measurements 2–3 hours after the DC source is turned on and before it is turned on. All measurements of the potential difference "pipe - soil" are made using a copper-sulfate reference electrode.

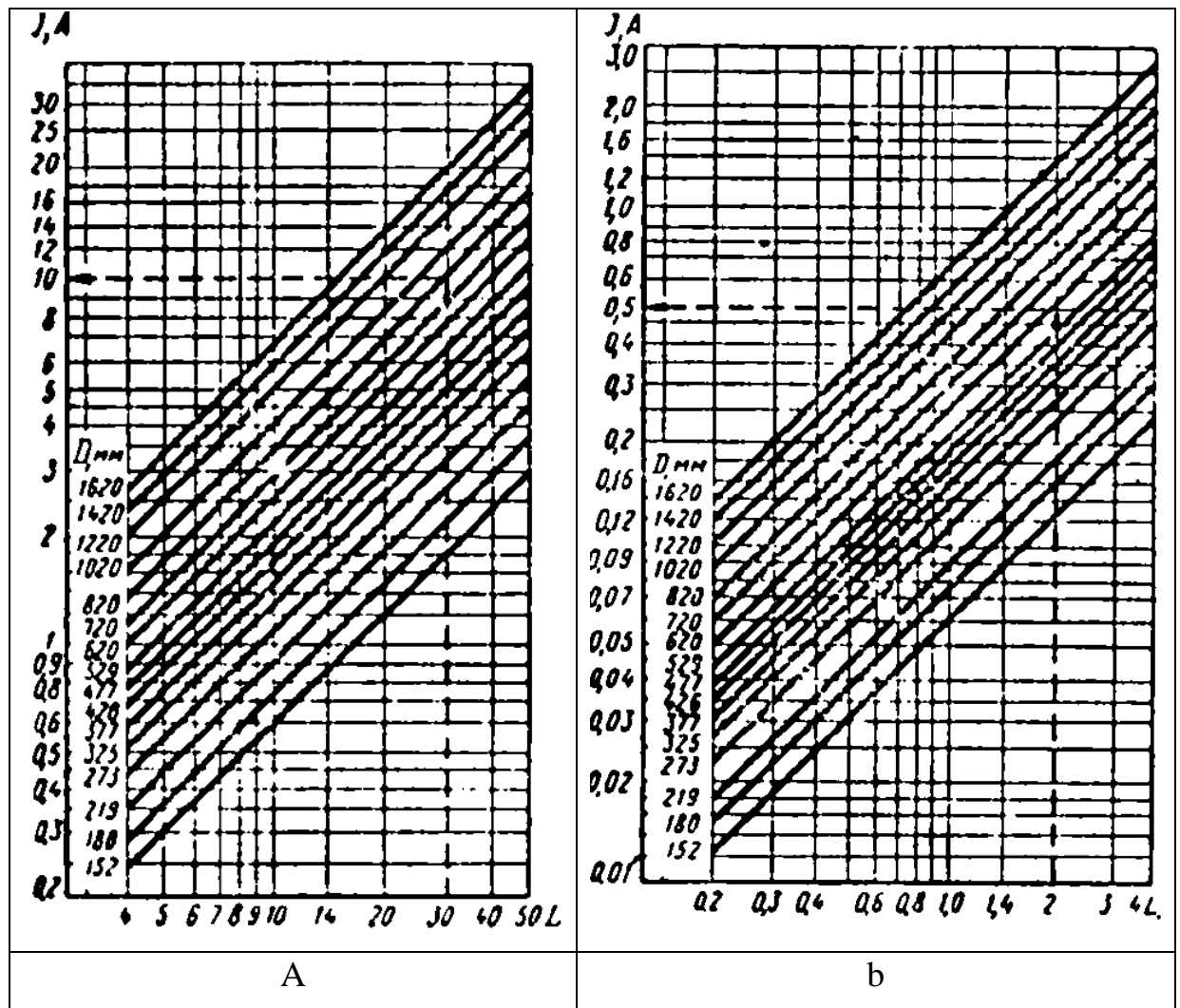


Figure 2 – Dependence of the current strength on the diameter of the pipeline and the length of the controlled section: a - 4-50 km, b - 0.2-4 km

If the displacement of the potential difference is less than the specified values or the displacement is achieved at a current strength exceeding the value determined by the nomogram, the quality of the insulation is assessed as unsatisfactory, and it must be corrected. Determination of the location of defects in the insulating coating in this case is carried out by the value of the transition resistance "pipe - soil". To determine the transient resistance at each kilometer of the test area, the potential difference "pipe-

to-soil" (before and after polarization) is measured in test columns, which must be installed at least every 1 km.

After repairing the insulation, the pipeline section is subjected to a second cathodic polarization test. If it is not possible to create a "pipe-ground" potential shift equal to the standard one (for example, due to the high spreading resistance of anode grounding and insufficient current source power), then it is allowed to assess the state of the insulation using the current strength calculated by the formula:

$$I = \frac{U_n}{U_m} \cdot I_m \quad (2)$$

where, where U_n , U_m – is the normative (equal to 0.4 or 0.7 V) and measured displacements of the potential difference "pipe-soil", respectively; I_m – is the measured current, A. The ratio U_n/U_m should not be more than 2. If the current calculated in this way is greater than regulated by the nomogram, then the condition of the insulating coating is considered unsatisfactory.

2. Cathodic protection of underground metal structures

Cathodic protection is used to prevent the destruction of the pipeline from soil corrosion, as well as from stray currents when it is inappropriate to use electrical drainage protection [2,3]. With cathodic protection, the negative pole of the direct current source is connected to the pipeline, and the positive pole is connected to an artificially created anode-grounding. When the current source is turned on, the electrical circuit will close through the soil electrolyte and the process of cathodic polarization will begin on the bare sections of the pipeline in places where the insulation is damaged (fig. 3). In the simplest case, a three-electrode system is obtained.

The potential of the structure to be protected, measured with respect to the electrolyte (for main pipelines, the "pipe-soil" potential), at which the corrosion current is practically zero, is called the protective potential. The minimum protective potential has a value equal to the initial potential of the anode sections with an open electrical circuit of the corrosive pair. At more positive potential values, the phenomenon of incomplete protection occurs. It can occur during cathodic protection of underground

structures located in the zone of strong influence of stray currents or when using protectors that do not have a sufficient negative electrode potential (zinc protectors).

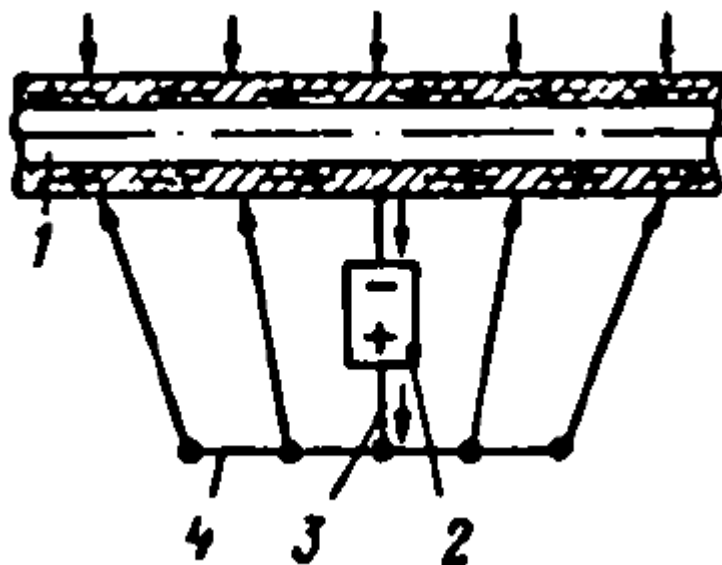


Figure 3 – Schematic diagram of the cathodic protection of the pipeline: 1 - pipeline; 2 - external source of direct current; 3 - connecting wire; 4 - anode grounding

The minimum protective potential for steel structures laid in sandy and clayey soils varies from -0.72 to -1.1 V according to the CSE (copper sulfate reference electrode). In practice, steel underground structures become protected by 80-90% if the potential is - 0.85 V. This value is accepted in our country as a criterion for the protection of steel underground structures. However, this minimum potential is only sufficient if there is no anaerobic biocorrosion. In the presence of the latter, the protective potential should be more negative and equal to - 0.95 V.

When implementing electrochemical protection of the pipeline throughout its entire length, it is not possible to create the same values of the protective potential. Since there should be a minimum protective potential at the most remote points, large values of the protective potential are inevitably created in the near sections of the pipeline, which can accelerate the destruction and peeling of the coating from the metal. The reasons for this phenomenon are not yet well understood. Theoretical and experimental studies have established that in soils of high humidity, the cathodic reaction with hydrogen depolarization begins to proceed at a potential equal to - 1.1 V; in wet soils - at a potential of - 1.2 V. However, exfoliation of bituminous coatings under

conditions of aqueous electrolytes is also observed at a minimum protective potential of - 0.85 V according to the CSE, when conditions are not created for the release of gaseous hydrogen as a result of the hydrogen depolarization reaction. This phenomenon can be explained by the fact that the adhesion of the bituminous coating to the metal is insufficient to withstand the force acting at the metal-coating interface as a result of the accumulation of migratory water (electroosmotic phenomena).

2.1 Anode grounding

There are a number of requirements for anode grounding:

- minimum transient resistance to current spreading;
- the smallest overall dimensions;
- the most durable and non-deficient material;
- ease of installation;
- duration of service with minimal restoration work;
- lowest cost.

In principle, a grounding conductor can be made of any conductive material (metal, graphite, coal, etc.), but grounding conductors made of ferrous metals, especially steel, are most widely used. This is due to the fact that in practical conditions it is almost always possible to find old pipes, rails, angles, etc. and use them for anode grounding. Ferrous metal ground electrodes are relatively quickly destroyed by the passing current due to the high electrochemical equivalent (9-10 kg/(A*year)), but the shape and mechanical strength of these products usually make it easy to install them in the soil. To reduce metal losses, anode groundings are installed in non-aggressive electrically conductive backfills from crushed and compacted coke or coal chips. In some cases, electrode production waste is used - graphite chips and slag. The flow of electric current into the soil from the pressed coke filling does not cause dissolution of the surface of the filling (fig. 4).

The nature of the electrochemical processes occurring on the surface of the anode earth electrode depends on the amount of moisture in the near-electrode layer of the earth electrode, which is determined by the soil moisture. There should be no free-

soil electrolyte in the backfill. Otherwise, an ionic conduction current appears on the surface of the ground electrode and the steel electrode begins to break down intensively.

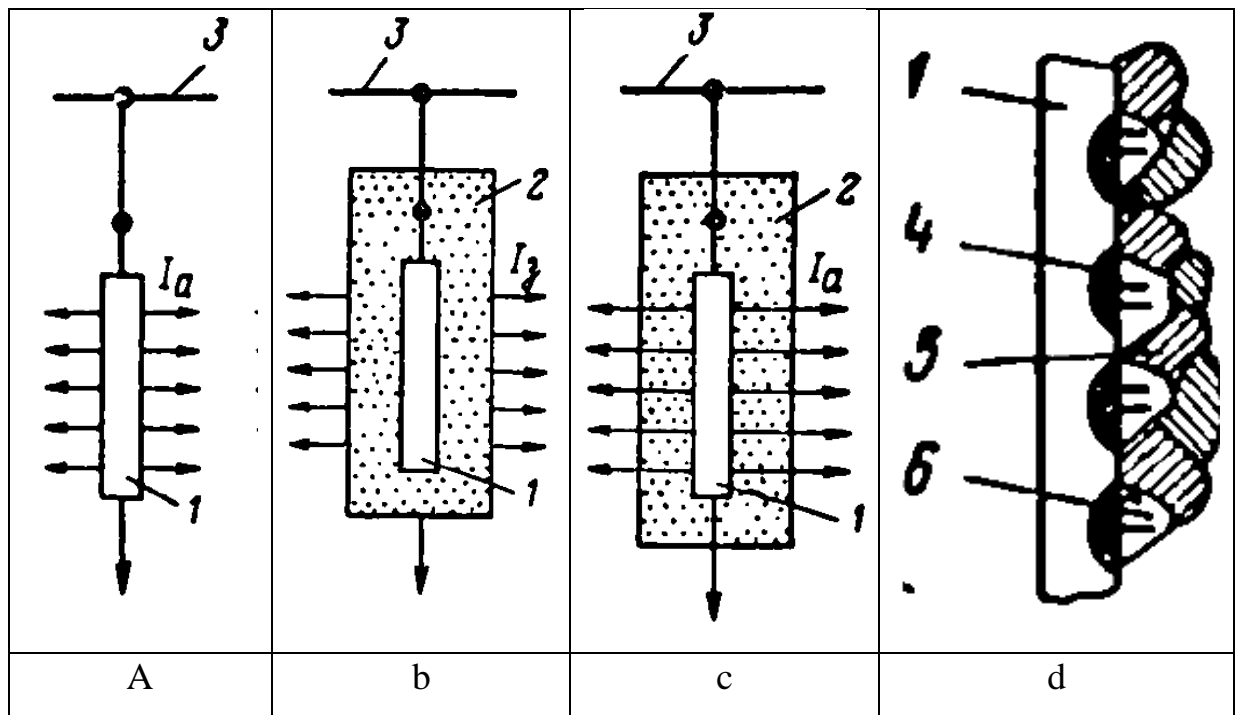


Figure 4 – Scheme of current spreading on a single vertical anode earthing switch installed in the ground (a), backfill in low-moisture soil (b), soil with saturated moisture (c) and the formation of corrosion centers of the ground electrode (d): - ground electrode; 2 - backfill; 3 - connecting conductor; 4 - corrosion damage to the ground electrode; 5 - backfill particles; 6—soil electrolyte

For this reason, in soils of high humidity, the use of coke filling is ineffective. Here, the steel electrodes are destroyed at the same rate as without backfill. For wet and low-moisture soils, the intensity of destruction of steel electrodes in coke filling is determined by the electrochemical equivalent for steel in coke, which is 5–38 times lower than for steel in soil, depending on the anodic current density.

Surface anode grounding is constructed from separate ground electrodes in three versions: horizontal, vertical and combined. *Horizontal grounding* is carried out from several electrodes (pipes, rails, strips) laid to a certain depth in one or two rows. The advantages of horizontal grounding are the availability of all parts of the ground for inspection and the relatively identical conditions for their operation, as well as the relative ease of performing the necessary earthworks. However, such grounding requires

large areas. The transient resistance of horizontal groundings is highly dependent on precipitation. *Vertical grounding* is performed in the form of one or more vertical electrodes located in one or two rows at a distance of 4-5 m from each other. The advantages of vertical grounding are the lower dependence of the transient resistance on atmospheric precipitation and the smaller area under them. However, earthing is difficult due to the need to drive pipes to a depth of several meters and work the surrounding soil to reduce its resistance. In the event of the destruction of the upper part, the grounding completely fails. *Combined grounding* consists of vertical and horizontal ground electrodes (fig .5).

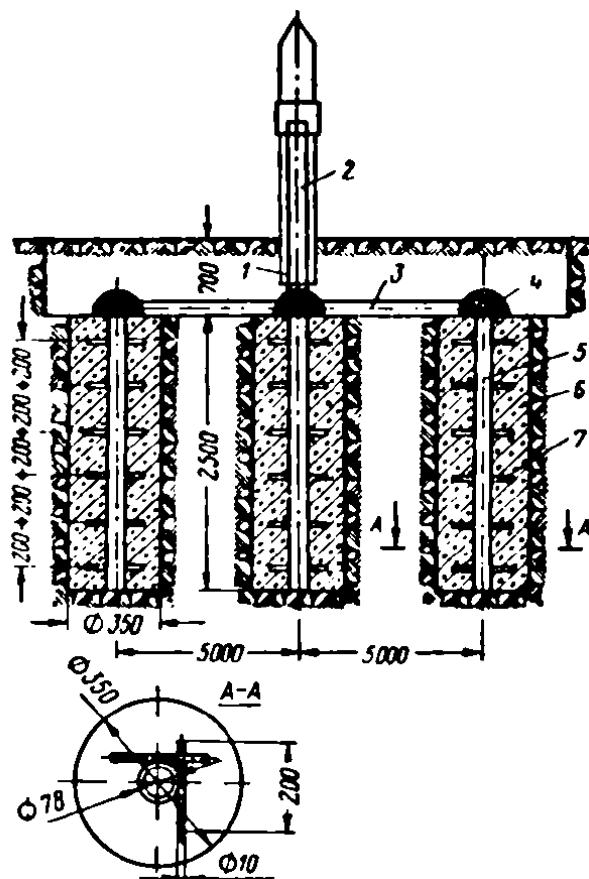


Figure 5 – Combined anode ground electrode: 1 - contact output. 2 - reinforced concrete column; 3 - connecting bus; 4 - bituminous filling of the welded joint; 5 - Earthing electrode; 6 - coke concrete; 7 - pins

In this case, it is possible to obtain the least resistance to current spreading with the smallest dimensions of the site. Combined grounding is usually performed from vertical grounding conductors driven in a row or along a contour, connected at the top by one or more horizontal lines. At the same time, vertical earthing switches tend to be

located at a sufficient distance from each other in order to minimize shielding (mutual influence) and not increase the resistance to current spreading.

3. Sacrificial protection of pipelines and reservoirs

Sacrificial protection (fig. 6) has the same basics as cathodic protection. The only difference is that the current necessary for protection is created by a large galvanic cell, in which the role of the cathode is played by the metal surface of the protected structure, and the role of the anode is played by a more electronegative metal [4,5].

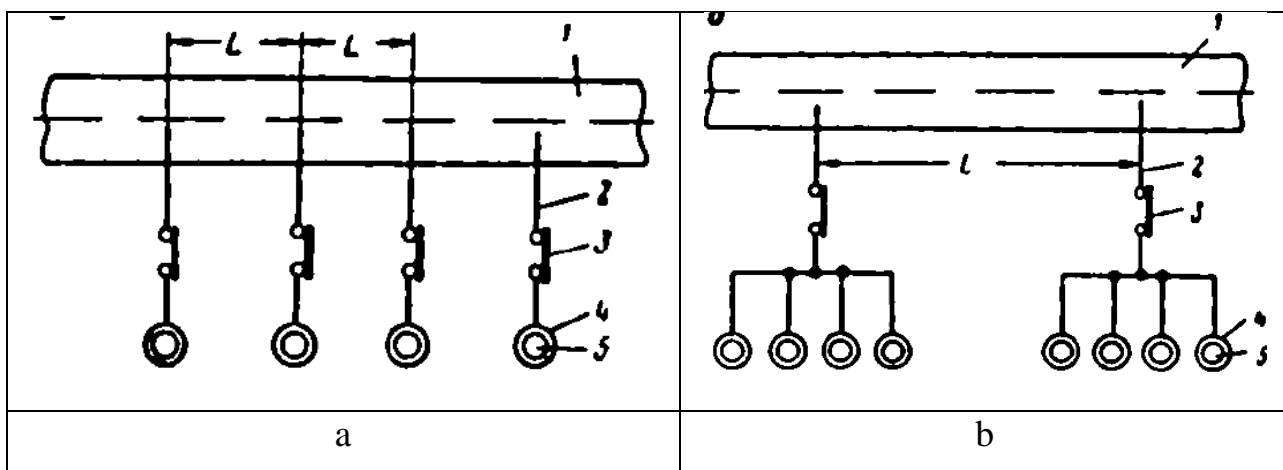


Fig. 6 – Scheme of sacrificial protection of an underground pipeline: a - protection by single protectors; b - protection by group tread installations; 1 - pipeline; 2 - connecting wire; 3—control and measuring column; 4 - activator; 5 - protector

Sacrificial protection is otherwise called cathodic protection by galvanic anodes. In this case, the positive pole is on the protected surface, and the negative pole is on the destroyed anode, i.e., in the reverse order of cathodic protection with superimposed current from an external source. The active material of the galvanic cell used to produce electrical energy is the protector, and the electrolyte is the soil surrounding the pipeline and the protector.

To protect steel structures, in principle, all metals located in the reactivity series above iron, i.e., having a more electronegative potential, can be used. Magnesium, zinc and aluminum are practically used. For the most effective operation of the tread installation, the following requirements must be met:

- the amount of electrical energy per unit mass (current output) of the protector should be maximum;

- the electrochemical equivalent of the protector material should be minimal, and therefore, the duration of the protector should be maximum;
- the electromotive force in the "protector - structure" system should be maximum;
- the cost of the tread installation and its operation should be minimal.

From a comparison of the basic properties of magnesium, aluminum and zinc, it is obvious that the most efficient materials in terms of the amount of electricity received per unit mass will be aluminum and magnesium, and magnesium should be preferred in terms of the magnitude of the generated electromotive force. At the same time, magnesium is characterized by a slightly increased dissolution rate compared to aluminum. Due to the fact that a dense layer of oxides forms on the surface of aluminum, which reduces the efficiency of the tread, this metal is used very rarely, preference is given to magnesium alloys. An increase in the efficiency of the tread installation is achieved by immersing it in a special mixture of salts called an activator. Direct installation of the tread into the ground is less effective than in the activator. The purpose of the activator is as follows:

- reduction of own corrosion;
- decrease in anodic polarizability;
- reduction of resistance to current spreading from the protector;
- elimination of causes contributing to the formation of dense layers of corrosion products on the tread surface.

When using an activator, a stable current in the “protector-structure” circuit and a higher value of the efficiency factor (protector service life) are provided. The main components of magnesium alloy activators are clay, gypsum, epsomite and mirabilite. The activator is prepared by mixing dry salts and clay with water to a viscous consistency. For one protector it is necessary to prepare 65-70 kg of activator. Mirabilite, reducing efficiency. magnesium protectors (especially at low anode current densities), can only be used in the absence of epsomite. Gypsum and clay are introduced into the activator to prevent salt leaching during the operation of the tread in soils. When installing protectors to stabilize the current output, it is recommended to lay them to a depth exceeding the boundaries of freezing and drying of the soil.

4. Stray current protection

Taking into account the propagation conditions of the electric field of stray currents and the electrochemical nature of electrocorrosion [6], measures to protect underground metal structures from electrocorrosion can be divided into two groups. The first group includes in its set of measures aimed at reducing stray currents in the ground and carried out directly on structures that are sources of currents, the second - a set of measures carried out on protected underground structures to reduce stray currents penetrating into structures from the surrounding soil, and the harmful effects of these currents, penetrating underground structures. In the latter case, the complex of measures is the name of electrical drainage protection.

The main measures that limit the invasion of stray currents from the surrounding soil into an underground structure are an increase in the transitional resistance "structure-to-ground" and longitudinal resistance of structures, the creation of an electrical potential on the structure that is more negative than the potential of metal structures adjacent to the soil. An increase in the transitional resistance "structure - soil" is achieved by the installation of insulating coatings with increased dielectric properties. Electrical sectioning of pipelines is carried out using insulating flanges, which are a firmly-tight flange connection of the pipeline with electrically insulating gaskets and fasteners that do not have electrical contact with the flange body. Insulating flanges can be used in the following cases:

- for electrical separation of underground structures into separate sections;
- for electrical disconnection of pipelines - branches from the main line;
- for increase the longitudinal resistance of pipelines;
- for electrical disconnection of an insulated pipeline from non-insulated structures (compressor or a pumping station with its own ground loop, tanks, wells, etc.);
- for electrical disconnection of pipeline sections made of various metals;
- for electrical separation of pipeline sections with a sharp change in the environment (at the exit of the underwater pipeline to the shore);
- for electrical disconnection of pipelines from underground structures of pipelines where protection is not provided or prohibited due to explosion hazard.

When designing the electrochemical protection of the pipeline, it should be borne in mind that a large number of insulating flanges on the pipeline significantly complicates the operation of the pipeline and protective equipment. The choice of installation locations for insulating flanges in each individual case is determined on the basis of electrical measurements directly on the pipeline route. The wrong choice can make the use of insulating flanges not only useless, but also harmful, since the number of local anode zones increases in proportion to the number of flanges.

Anode zones that appear on pipelines when installing insulating flanges are eliminated by connecting grounded down conductors to the pipeline, as well as by shunting the flanges with adjustable resistance, which allows you to adjust the protection mode according to the strength of the transmitted current, as well as a polarized bridge. Magnesium and zinc protectors can be used as down conductors, which, in addition, protect the pipeline in the anode zones near the insulating flanges. The use of down conductors protects the insulating flanges from breakdown in the event of high voltage entering the pipeline (lightning strike, etc.).

4.1 Electric drainage protection

The basic principle of electrical drainage protection is to eliminate anode zones on underground pipelines. In this case, the cathode zones formed on the pipeline at the entry points of stray currents are preserved. This is achieved by diversion (drainage) of stray currents from sections of the anode zones of the pipeline to the rail part of the electric traction circuit, which has a negative or alternating potential, or to the busbar of the suction lines of the traction substation. The potential of the pipeline is shifted to the negative side, and the anode zones caused by the leakage of traction currents of the electric transport are eliminated. The drainage protection station includes an electrical drainage installation, a contact device with a track circuit, and connecting power lines. Protection is carried out with the help of polarized and reinforced drainage protection stations, as well as with the help of polarized tread systems.

Polarized drainage ensures the passage of stray currents in only one direction: from the pipeline to the rail with an alternating potential difference "pipe - rail".

Polarized drainage installations according to the principle of execution of the one-way conduction device are divided into electromagnetic and valve. The advantages of valve drains compared to electromagnetic ones are the absence of moving parts and contacts, the disadvantage is sensitivity to temperature rise and instantaneous voltage and current overloads in the forward and reverse directions, due to the characteristics of the valve elements. In addition, the electromagnetic drainage unit cannot be applied for enhanced drainage.

Reinforced drainage is a combination of a valve electrical drainage installation and a cathodic protection station, the purpose of which is to create a protective negative potential on the pipeline at the moment when the section of the structure adjacent to the ground has a potential more positive than the potential of the nearby section of the pipeline, and the valve block is locked, and the electrical drainage device does not function.

Polarized protector systems, unlike conventional protector systems, are automatically included in the anode current pulse on the pipeline and switched off in the cathode pulse. This allows the use of such systems in areas of significant influence of stray currents on the main pipelines. The presence of conventional (non-polarized) protectors in the cathode and alternating zones on the pipeline increases the density of the current entering the pipeline, and, consequently, the flowing current (in the anode zones). Such a phenomenon can lead to the formation of deep negative potentials at the cathode sections of the pipeline, destroying the anticorrosion coating of the latter, and increase the corrosion hazard in the anode zones. Structurally, a polarized protector system is a conventional system of protectors connected to the protected pipeline using semiconductor diodes that pass current only in the direction from the pipeline to the protector. The presence of such protectors in the cathode zone of the pipeline does not affect the amount of stray currents entering the pipeline, since it is determined only by the transition resistance of the pipeline. In the anode zones, stray currents drain mainly from the protectors through an open valve (diode). This prevents corrosion of the pipeline. The proportion of corrosion current flowing down from the protectors is the

greater, the lower the resistance of the "pipeline - protector - soil" circuit compared to the transition resistance of the pipeline.

The use of dual systems is promising: an effective anode (a protector made of metal having a more negative electrode potential than the metal of the pipeline), connected to the pipeline through a diode, and an effective cathode, the potential of which has a more positive value than the metal of the structure, connected to the pipeline through a reverse transistor. conductivity. The effective cathode of the system limits the negative potential of the pipeline from deep polarization by stray currents during the period of the cathode pulse. The limitation is carried out by including in the base of the transistor a control electrode made of a certain alloy, installed in the activator. Such an electrode has a constant potential relative to the surrounding soil. At the potential of the structure, which has a more negative value than the potential of the control electrode, a signal of positive polarity arrives at the base of the transistor, the transistor opens, and the effective cathode begins to polarize the structure anodically, the cathodic polarization of the protected structure slows down, i.e., the excess cathode potential of the structure decreases to the potential level of the control electrode. In this case, the effective anode is disconnected from the structure by a diode. The switching on occurs at a certain moment, which is characterized by the potential of the building being more positive than the potential of the effective anode.

5. Use of corrosion inhibitors

Corrosion inhibitors or retarders are substances whose introduction into a corrosive environment causes a significant decrease in the rate of metal corrosion [7]. The mechanism of the protective action of inhibitors mainly consists in the formation of protective films on the surface of metals, with the help of which the separation of the aggressive environment and the metal is carried out. At present, several thousand individual chemical compounds and their mixtures used as corrosion inhibitors have been created and patented in the world. Depending on the nature of the environment in which corrosion occurs, there are inhibitors for liquid media and atmospheric conditions. In turn, inhibitors for liquid media are divided into inhibitors of acid corrosion, neutral solutions and alkali solutions. According to the state of aggregation, inhibitors are

divided into liquid and solid, according to solubility - into water-soluble, hydrocarbon-soluble, mixed. When choosing an inhibitor in each specific case, the climatic conditions of the given area and the presence of a sufficient amount of solvents are taken into account. It is possible to simultaneously use water- and hydrocarbon-soluble, as well as combined (complex) inhibitors.

In the production, transportation and storage of oil and gas, the following requirements are imposed on inhibitors: solubility in hydrocarbons and the ability to form a stable emulsion or suspension in an aqueous medium. In this case, the inhibitor should provide protection for the internal walls of the equipment from the aggressive effects of hydrogen sulfide, hydrogen chloride and water vapor at relatively high temperatures. Investigations have shown that at high temperatures (up to 120°C) most highly effective corrosion inhibitors retain, and in some cases increase the protective effect. The data obtained suggest that the tested inhibitors mainly provide a protective effect due to the strong bonding of their polar molecules to the metal surface, carried out by chemisorption forces (chemical bonding). An increase in temperature strengthens this relationship. The main proportion of inhibitors currently used to protect equipment in the oil and gas industry is represented by organic nitrogen-containing compounds with long carbon chains. These include derivatives of aliphatic fatty acids, imidazomines and their derivatives, quaternary compounds, resin amine derivatives.

There are a number of ways to introduce corrosion inhibitors into aggressive environments. One of them is a single treatment of the inner surface of communications (pipelines, settling equipment, pumps) using a concentrated inhibitor solution. The use of inhibitors at a concentration of more than 10% through a single treatment of the equipment makes it possible to effectively protect pipelines pumping flooded oil, infield water lines pumping wastewater into injection and absorption wells, as well as settling equipment (tanks, settling tanks) of oil and wastewater treatment plants. The duration of action (aftereffect) after a single treatment for various inhibitors ranges from 1.5 to 7 months. With a shorter aftereffect, the single treatment method is not recommended.

References

1. Role of coatings in the development of corrosion and stress corrosion cracking on gas transmission pipelines / M. Wilmott, B. Erno, T. Jack [et al] // Proceedings of the International Pipeline Conference. – 1998. – Vol. 1. – P. 399 – 403.
2. Evitts R.W. Cathodic Protection / R.W. Evitts // Handbook of Environmental Degradation of Materials. – 2012. – P. 359-380.
3. Analysis of the Physicochemical, Mechanical, and Electrochemical Parameters and Their Impact on the Internal and External SCC of Carbon Steel Pipelines / L.M. Quej-Ake, J.N. Rivera-Olvera, Y.R. Domínguez-Aguilar [et al] // Materials. – 2020, Vol. 13, № 24. – article number 5771. DOI: 10.3390/ma13245771.
4. Ameh E.S., Ikpeseni S.C. Pipelines Cathodic Protection Design Methodologies for Impressed Current and Sacrificial Anode Systems / E.S. Ameh, S.C. Ikpeseni // Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH). – 2017. – Vol. 36, No. 4. – P. 1072 – 1077.
5. Prolonging the lives of buried crude-oil and natural-gas pipelines by cathodic protection / M.T. Lilly, S.C. Ihekwoaba, S.O.T. Ogaji [et al] // Applied Energy. – 2007. – Vol. 84, № 9. – P. 958-970.
6. Osella A., Favetto A. Effects of soil resistivity on currents induced on pipelines / A. Osella, A. Favetto // Journal of Applied Geophysics. – 2000. – Vol. 44, № 4. – P. 303-312.
7. Corrosion and Corrosion Inhibition of Steel Pipelines in Montmorillonitic Soil Filling Material / A.M. El-Shamy, M.F. Shehata, H.I.M. Metwally [et al] // Silicon. – 2018. – Vol. 10, № 6. – P. 2809-2815. DOI:10.1007/s12633-018-9821-4.