

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки)

Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Обеспечение проектного положения промыслового трубопровода при его переходе через автомобильную дорогу на территории многолетнемерзлых грунтов

УДК 621.644.074:551.345

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Никулин Евгений Валерьевич		8.06.22

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Бурков П.В.	д.т.н.		8.06.22

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Криницына З.В.	к.т.н.		23.05.22

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ООД	Гуляев М.В.	—		30.05.22

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Брусник О.В.	к.п.н.		8.06.22

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально- историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-10	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и инженерные знания
ОПК(У)-2	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента
ОПК(У)-4	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
ОПК(У)-5	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии
ОПК(У)-7	Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными правовыми актами

Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен осуществлять и корректировать технологические процессы нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-2	Способен проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-3	Способен выполнять работы по контролю безопасности работ при проведении технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-4	Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-5	Способен обеспечивать заданные режимы эксплуатации нефтегазотранспортного оборудования и контролировать выполнение производственных показателей процессов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
ПК(У)-6	Способен проводить планово-предупредительные, локализационно-ликвидационные и аварийно-восстановительные работы линейной части магистральных газонефтепроводов и перекачивающих станций
ПК(У)-7	Способен выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-8	Способен использовать нормативно-технические основы и принципы производственного проектирования для подготовки предложений по повышению эффективности работы объектов трубопроводного транспорта углеводородов

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: переход промыслового трубопровода через автомобильную дорогу на территории распространения многолетнемерзлых грунтов. Нефтегазопровод: диаметр – 530х9 мм, сталь – 13ХФА, класс прочности – К52, давление перекачиваемой среды – 21 кгс/см², температура перекачиваемой среды – 40°С. Изоляция нефтегазопровода: пенополиуретан, толщина – 100 мм, коэффициент теплопроводности – 0,0456 Вт/(м·К). Защитный футляр нефтегазопровода: диаметр – 1020х8 мм, сталь – 09Г2С, класс прочности – К52, длина футляра – 20 м. Средняя мощность грунта: суглинок пластичномёрзлый – 3,00 м, суглинок твердомёрзлый – 12,00 м, песок (насыпь дороги) – 0,44 м.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	1. Анализ нормативно-технической документации и научной литературы. 2. Анализ применяемых технических решений по обеспечению проектного положения трубопровода при его переходе через автомобильную дорогу. 3. Выбор проектного решения на основе проведенного анализа. 4. Выполнение расчета защитного футляра на прочность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. График естественной глубины оттаивания грунтов. 2. График глубины оттаивания грунта под трубопроводом. 3. График обобщенного итога моделирования. 4. Результаты теплотехнического расчета в программном комплексе Frost 3D. 5. Эпюры реакций дорожного полотна.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент ОСГН, к.т.н. Криницына З.В.
«Социальная ответственность»	старший преподаватель ООД Гуляев М.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.01.22
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Бурков П.В.	д.т.н.		10.01.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Никулин Евгений Валерьевич		10.01.22

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело» (Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки)

Уровень образования Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

Период выполнения Весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.22
--	---------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.01.22	<i>Введение</i>	5
24.01.22	<i>Обзор литературы</i>	10
31.01.22	<i>Описание объекта анализа</i>	5
31.01.22	<i>Анализ использованных проектных решений при обустройстве рассматриваемого перехода ТП через автомобильную дорогу</i>	5
4.04.22	<i>Моделирование перехода ТП через автомобильную дорогу</i>	15
4.04.22	<i>Предлагаемые проектные решения</i>	15
11.04.22	<i>Расчет защитного футляра на прочность</i>	10
23.05.22	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
30.05.22	<i>Социальная ответственность</i>	10
1.06.22	<i>Заключение</i>	5
6.06.22	<i>Презентация</i>	10
	<i>Итого</i>	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Бурков П.В.	Д.Т.Н.		10.01.22

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Брусник О.В.	к.п.н.		10.01.22

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 136 с., 57 рисунков, 9 графиков, 32 таблицы, 44 источника, 5 приложений.

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, проектное положение, моделирование, тепловое воздействие, промышленный трубопровод, переход через автомобильную дорогу.

Объектом работы является переход промышленного трубопровода через автомобильную дорогу на территории распространения многолетнемерзлых грунтов.

Цель работы: выбор проектного решения обустройства перехода трубопровода через автомобильную дорогу.

В процессе выполнения работы проводились: моделирование теплового воздействия трубопровода на грунт, принятие проектных решений, прочностной расчет защитного футляра.

Результаты работы: выбраны проектные решения для устранения существующей проблемы объекта работы, рассчитано значение толщины стенки футляра, соответствующее нормативной документации.

Область применения: подземные трубопроводы, проложенные на территории распространения многолетнемерзлых грунтов.

ABSTRACT

The final qualification work contains 136 pages, 57 pictures, 9 diagrams, 32 tables, 44 references, 5 attachments.

Key words: permafrost soil, design position, simulation, thermal effect, gathering pipeline, pipeline road crossing.

The subject of the work is the gathering pipeline crossing the road located at the permafrost region.

The purpose of the work is to design the construction solution of the gathering pipeline crossing the road.

The methodology includes the simulation of the pipeline thermal effect on the soil, making design solutions, the casing strength analysis.

The results of the work contain the design solutions, and the calculated casing wall thickness that is in accordance with the regulatory documents.

The implementation covers gathering pipelines located at the permafrost soil region.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 26568-85 Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация (с Изменением N 1).
2. СТО Газпром 2-2.1-435-2010 Проектирование оснований, фундаментов, инженерной защиты и мониторинга объектов ОАО «Газпром» в условиях крайнего севера.
3. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками).
4. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание).
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. ГЭСН 81-02-01-2020 Государственные сметные нормативы. Государственные элементные сметные нормы на строительные и специальные строительные работы. Сборник 1. Земляные работы.
7. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.
8. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.
9. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1).

10. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1).
11. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
12. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).
13. ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования (с Изменением N 1).
14. ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.
15. ГОСТ 12.2.061-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
16. ГОСТ 12.4.125-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.
17. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
18. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
19. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2, 3).
20. ГОСТ 10705-80 Трубы стальные электросварные. Технические условия (с Изменениями N 1-8).
21. ГОСТ 10779-78 Спирт поливиниловый. Технические условия (с Изменениями N 1, 2).

22. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2, 3).
23. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах СНиП 2.02.04-88.
24. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменениями N 1, 2).
25. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2).
26. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 (с Изменением N 1).
27. СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95.
28. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения.
29. ГОСТ Р 55990-2014 Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования.
30. СП 284.1325800.2016 Трубопроводы промысловые для нефти и газа. Правила проектирования и производства работ (с Изменением N 1).
31. СП 409.1325800.2018 Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа. Производство работ по устройству тепловой и противокоррозионной изоляции, контроль выполнения работ.
32. СП 410.1325800.2018 Трубопроводы магистральные и промысловые для нефти и газа. Строительство в условиях вечной мерзлоты и контроль выполнения работ.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

1. **защитный футляр (кожух):** Сооружение, предназначенное для защиты трубопроводов от неблагоприятных нагрузок и воздействий при пересечении естественных и искусственных преград, а также для отвода продукта от пересечения при аварии на трубопроводе (по СП 284.1325800.2016).

2. **инженерно-геокриологические условия:** Совокупность характеристик компонентов геологической среды исследуемой территории – рельефа, состава, состояния, криогенного строения грунтов, условий их залегания, температуры, физико-механических свойств, подземных вод, геологических и криогенных процессов и явлений, влияющих на проектирование, строительство и эксплуатацию зданий и сооружений (по СП 11-105-97, часть IV).

3. **инженерно-геологические условия:** Совокупность характеристик компонентов геологической среды исследуемой территории (рельефа, состава и состояния горных пород, условий их залегания и свойств, включая подземные воды, геологических и инженерно-геологических процессов и явлений), влияющих на условия проектирования и строительства, а также на эксплуатацию инженерных сооружений соответствующего назначения (по СП 11-105-97, часть I).

4. **многолетнемерзлый грунт:** Грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет (по СП 25.13330.2020).

5. **общий коридор:** Система трубопроводов, размещенных параллельно по одной трассе и предназначенных для транспортирования различных продуктов на территории месторождения (по ГОСТ Р 55990-2014).

6. **основание сооружения:** Массив грунта, взаимодействующий с сооружением (по СП 22.13330.2016).

7. **переход трубопровода:** Участок трубопровода на пересечении с искусственным или естественным препятствиями, отличный по конструктивному исполнению от прилегающих участков трубопровода (по ГОСТ Р 55990-2014).

8. **полулетальная доза:** Доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном введении в желудок (по ГОСТ 12.1.007-76).

9. **проектное положение:** Положение конструктивного элемента сооружения или оборудования, определяемое монтажной схемой и допусками на монтажные работы (по терминологическому словарю [1]).

10. **промысловый трубопровод:** Трубопровод с устройствами на нем для транспортирования газообразных и жидких продуктов под действием напора (разности давлений) от скважин до места выхода с промысла подготовленной к дальнейшему транспортированию товарной продукции (по СП 284.1325800.2016).

11. **техногенные воздействия:** Опасные воздействия, являющиеся следствием аварий в зданиях, сооружениях или на транспорте, пожаров, взрывов или высвобождения различных видов энергии, а также воздействия, являющиеся следствием строительной деятельности на прилегающей территории (по СП 47.13330.2016).

Обозначения и сокращения

ММГ – многолетнемерзлый грунт

ТП – трубопровод

СОУ – сезонно-охлаждающее устройство

DN – номинальный диаметр

ПВС – поливиниловый спирт

Оглавление

Введение.....	11
1 Обзор литературы	13
1.1 ММГ	13
1.2 Проектирование зданий и сооружений на ММГ	15
1.3 Проектирование ТП на ММГ	17
1.4 Мероприятия по стабилизации проектного положения.....	19
2 Описание объекта анализа	22
2.1 Нормы проектирования переходов через автомобильные дороги.....	22
2.2 Объект компании N.....	24
2.3 Мероприятия по осмотру перехода через автомобильную дорогу.....	26
2.4 Проблематика рассматриваемого участка.....	26
3 Анализ использованных проектных решений при обустройстве рассматриваемого перехода ТП через автомобильную дорогу.....	28
3.1 Замена льдистых грунтов песчаными	28
3.2 Применение теплоизоляции ТП	28
3.3 Прокладка по типу «труба в трубе»	29
3.4 Устройство подземных опор на свайном основании в подземных ТП....	30
4 Моделирование перехода ТП через автомобильную дорогу.....	32
4.1 Описание Frost 3D.....	32
4.2 Особенности моделирования поставленной задачи	33
4.2.1 Особенности теплотехнического расчета.....	33
4.2.2 Допущения и упрощения при подготовке модели	33
4.3 Решение задачи.....	34
4.4 Верификация и валидация численного решения	35
5 Предлагаемые проектные решения	38
5.1 Теплоизоляционный экран: краткое описание	38
5.2 Теплоизоляционный экран: моделирование и результаты	39
5.3 Криогели: краткое описание	39

5.4 Криогели: моделирование и результаты.....	41
5.5 СОУ: краткое описание	42
5.6 СОУ: моделирование и результаты.....	42
5.7 Обобщенный итог моделирования.....	43
5.8 Компоновка проектных решений	43
6 Расчет защитного футляра на прочность.....	45
6.1 Результаты анализа исходных данных	45
6.2 Расчеты.....	45
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
Введение.....	48
7.1 Определение состава работ, выполняемых в соответствии с проектным решением, и оценка их длительности	48
7.2 Планирование и формирование бюджета проведения работ в соответствии с проектным решением	51
7.2.1 Материальные затраты	51
7.2.2 Фонд оплаты труда и страховые взносы	52
7.2.3 Основные фонды и амортизация	54
7.2.4 Накладные расходы	56
7.2.5 Себестоимость подрядных работ	57
7.3 Определение экономической эффективности проведения работ в соответствии с проектным решением	58
Вывод по разделу	58
8 Социальная ответственность	62
Введение.....	62
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	62
8.1.2 Компоновка рабочей зоны	63
8.2 Производственная безопасность	64
8.2.1 Анализ потенциальных вредных производственных факторов.....	66
8.2.2 Анализ потенциальных опасных производственных факторов.....	69

8.3 Экологическая безопасность.....	71
8.3.1 Защита литосферы	71
8.3.2 Защита гидросферы.....	72
8.3.3 Защита атмосферы	72
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
Вывод по разделу	74
Заключение	75
Список публикаций студента.....	77
Список использованных источников	78
Приложение А (справочное) Описание объекта компании N.....	84
Приложение Б (обязательное) Результаты теплотехнических расчетов.....	89
Приложение В (справочное) Порядок прочностного расчета защитного футляра	111
Приложение Г (справочное) Верификация и валидация численного решения	119
Приложение Д (справочное) Сметы по статьям калькуляции	126

Введение

Арктическая зона РФ, по оценкам экспертов, содержит более 85,1 трлн. куб. метров горючего природного газа и 17,3 млрд. тонн нефти. В состав минерально-сырьевого комплекса республики Якутия (Дальний Восток) входят более 645 млн. тонн извлекаемых запасов нефти и более 2,9 трлн. куб. метров природного газа. По представленной статистике видно, что данные регионы являются перспективными в плане развития на их территории объектов нефтегазового комплекса.

Меры по развитию Арктики и Дальнего Востока определяются Стратегией и Национальной программой развития Дальнего Востока, Стратегией развития Арктической зоны и Энергетической стратегией РФ [2-5]. Данные меры предполагают разработку технологий по изучению и освоению этих участков, становление инфраструктуры, формирование нефтегазовых минерально-сырьевых центров, повышение уровня газификации субъектов РФ и т.д.

Необходимо здесь отметить основную проблему реализации указанных мер, которая представляет собой сложные инженерно-геологические условия, которые можно отнести ко II и III категориям (по СП 11-105-97, часть I). Примерами таких условий могут послужить невысокие среднегодовые температуры воздуха и широкое распространение ММГ (и связанные с ними процессы: термокарст, солифлюкция, дефляция и прочее [6]). Особое влияние оказывают на надежную работу объектов нефтегазового комплекса сезонные оттаивания и замерзания ММГ.

Из-за температурных колебаний меняются физико-механические характеристики грунта, что приводит к изменению проектного положения сооружений. Результатом таких явлений могут послужить нарушение режима эксплуатации оборудования, авария или инцидент. Чтобы избежать указанных последствий необходимо как на стадии проектирования, так и в процессе

непосредственной работы объектов предусматривать решения, обеспечивающие их стабильное проектное положение.

Сырьевая база Арктики и Дальнего Востока, развитие данных регионов РФ, сложные инженерно-геологические условия, присущие указанной местности, и проблемы изменения проектного положения объектов нефтегазовой отрасли из-за их взаимодействия с ММГ определяют **актуальность** настоящей работы.

В качестве **объекта** работы выступает переход промыслового трубопровода через автомобильную дорогу на территории распространения ММГ.

Цель работы заключается в выборе проектного решения обустройства перехода трубопровода через автомобильную дорогу. Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- 1) анализ нормативно-технической документации и научной литературы;
- 2) анализ применяемых технических решений по обеспечению проектного положения трубопровода при его переходе через автомобильную дорогу;
- 3) выбор проектного решения на основе проведенного анализа;
- 4) выполнение расчета защитного футляра на прочность.

1 Обзор литературы

1.1 ММГ

Нарушение теплового режима ММГ при строительстве и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса приводит к активации различных процессов, свойственных данной территории. Уровень такого воздействия зависит от особенностей состава грунтов, их физико-химических свойств, характера техногенного влияния и его длительности, характеристик природного ландшафта. В результате вечная мерзлота выводится из динамического равновесия, что приводит к ее оттаиванию. Исходя из перечисленного, эксплуатирующие и проектирующие организации должны выбирать наиболее оптимальные проектные решения по сооружению объектов нефтегазового комплекса, сочетая промышленную и экологическую безопасность и учитывая природные условия северных регионов.

Вечная мерзлота распространена в северной части Российской Федерации. Занимает она около 50% территории страны, из которых примерно от 15 до 20% сплошного распространения ММГ приходится на Арктику (рисунок 1.1.1 по СП 115.13330.2016).



Рисунок 1.1.1 – Распространение ММГ в России

Сопоставляя карты трубопроводной сети России с рисунком 1.1.1, можно удостовериться, что достаточно много проектов проходит через мерзлоту: ВСТО, Заполярье-Пурпе-Саматлор, Сила Сибири, Сахалин-Хабаровск-Владивосток и др. Все перечисленные трубопроводы непосредственно взаимодействуют с ММГ. Следовательно, перед эксплуатирующими и проектирующими организациями постоянно возникают вопросы обеспечения безопасной транспортировки флюида. Это связано с геокриологическими явлениями, характерными для рассматриваемых территорий, которые протекают в так называемом сезонномерзлом слое.

Согласно СП 25.13330.2020, сезонномерзлый (сезонноталый) грунт – это грунт, находящийся в мерзлом или талом состоянии периодически в течение холодного или теплого сезона. За сезонномерзлым слоем следуют ММГ, которые представляют собой твердую массу, способную выдерживать большие нагрузки. Однако, если такой грунт подвергнуть растеплению, то он теряет свою несущую способность.

При рассмотрении источников [6, 7], были выделены следующие геокриологические процессы, характерные для территории распространения ММГ:

- 1) криогенное выветривание пород – разрушение пород при попадании в них воды с последующим ее замерзанием и оттаиванием;
- 2) морозобойное растрескивание – процесс температурной деформации мерзлых пород при колебаниях температурного поля, т.е. это изменение напряженного состояния пород под влиянием сезонных изменений температуры;
- 3) морозное пучение – увеличение объема грунта вследствие расширения замерзшей в нем воды;
- 4) наледеобразование – сезонное замерзание поверхностных и подземных вод;
- 5) термокарст – тепловая осадка земной поверхности вследствие вытаявания подземного льда;

- 6) термоэрозия – разрушение и вынос пород водными потоками (тепловое и механическое воздействие на породу со стороны воды);
- 7) термоабразия – размывание пород на береговых уклонах;
- 8) солифлюкция – вязкое течение, сплывание оттаивающих пород и др.

Как видно, эксплуатирующим и проектирующим организациям приходится сталкиваться с большим количеством негативных природных явлений в отношении объектов нефтегазового комплекса. Однако, проведя анализ источников [8-14] по рассматриваемой проблеме, отметим, что основными геокриологическими процессами, представляющими наибольшую опасность для зданий и сооружений, являются морозные пучения грунта и осадки ТП вследствие образования ореолов оттаивания.

1.2 Проектирование зданий и сооружений на ММГ

Опираясь на описанные геокриологические процессы в предыдущем подразделе, отметим, что проектирование объектов нефтегазовой отрасли является комплексной задачей. Согласно СП 25.13330.2020, здания и сооружения, возводимые на территории распространения ММГ, необходимо проектировать на основе данных инженерно-геологических изысканий. Они включают специальные геокриологические и гидрогеологические изыскания, которые учитывают конструктивные и технологические особенности проектируемых сооружений, их тепловое и механическое взаимодействие с ММГ и возможные изменения геокриологических условий.

При строительстве на ММГ в зависимости от перечисленных выше особенностей рекомендуется применять два принципа использования ММГ в качестве оснований (по СП 25.13330.2020).

Принцип I базируется на использовании ММГ в качестве оснований в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации, или с допущением промораживания. Примером такого

использования грунтов может послужить прокладка магистральных или промысловых ТП на сваях с термостабилизаторами (т.е. надземная прокладка) [9]. При этом при проектировании рекомендуется избегать участки с активными мерзлотно-грунтовыми процессами. Также реализация I принципа целесообразна при сооружении объектов на территории распространения сильнольдистых грунтов.

Согласно СП 25.13330.2020, рекомендуется при использовании ММГ по принципу I для сохранения их мерзлого состояния устраивать вентилируемые подполья, укладку в основании сооружения вентилируемых труб, установку СОУ, а также осуществление др. мероприятий по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания. Однако реализация данного способа является дорогостоящей операцией, поэтому инженеры чаще пользуются II принципом [15].

Принцип II подразумевает использование ММГ в качестве оснований в оттаянном или оттаивающем состоянии. Согласно СП 25.13330.2020, данный принцип используется при наличии малольдистых и льдистых грунтов, дающих малую осадку, не превышающую допустимые значения, и при несплошном распространении ММГ. Рекомендуется рассчитывать сооружение на прочность и устойчивость с учетом дополнительных напряжений от изгиба вследствие осадки основания при оттаивании [9]. Примером использования принципа II может послужить подземная прокладка магистральных или промысловых ТП, а именно их переходы через автомобильные или железные дороги.

При проектировании оснований зданий и сооружений, возводимых с использованием ММГ по принципу II, следует предусматривать мероприятия по уменьшению деформаций основания или мероприятия по приспособлению конструкций сооружения к восприятию неравномерных деформаций основания. Для уменьшения деформаций основания в зависимости от конкретных условий строительства следует предусматривать:

- предварительное искусственное оттаивание и уплотнение грунтов основания;

- замену льдистых грунтов основания талым или непросадочным при оттаивании песчаным или крупнообломочным грунтом;
- ограничение глубины оттаивания мерзлых грунтов основания;
- увеличение глубины заложения фундаментов (как правило, фундаменты закладывают до слоя ММГ, упомянутого ранее).

Дополнительно при проектировании необходимо учитывать требования к охране окружающей среды и имеющийся опыт проектирования. Выбор того или иного проектного решения при использовании как принципа I, так и принципа II рекомендуется производить на основании технико-экономического расчета (по СП 25.13330.2020).

1.3 Проектирование ТП на ММГ

Переходя от общего к частному, в дальнейшем будем рассматривать промышленные ТП, т.к. настоящая работа ориентирована на них.

Обратимся к нормам проектирования, устанавливаемым СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014 и СП 25.13330.2020.

Проектирование ТП, предназначенных для прокладки на территории ММГ, следует выполнять в соответствии с требованиями технических регламентов, стандартов и других нормативных документов в области технического регулирования (по СП 284.1325800.2016 и ГОСТ Р 55990-2014).

При проектировании нефтегазопроводов следует учитывать, что они имеют повышенный уровень ответственности; транспортируемый продукт может иметь как положительную, так и отрицательную температуру; опасность прямого теплового и гидравлического воздействий транспортируемых углеводородов на мерзлые грунты при авариях на ТП; в качестве оснований ТП не рекомендуется рассматривать участки с подземными льдами, наледями, буграми пучения, проявлениями солифлюкции, термоэрозии и др. процессов (по СП 25.13330.2020).

Для трассы ТП должны выбираться наиболее оптимальные в инженерно-геологическом отношении участки по материалам инженерно-геокриологических изысканий. В зависимости от способа прокладки ТП, режима его эксплуатации, инженерно-геокриологических условий и возможности изменения свойств грунтов основания должны рассматриваться принципы I и II, описанные выше (по СП 284.1325800.2016). Выбранный принцип использования ММГ, способ прокладки и конструктивные решения должны обеспечивать работоспособность и ремонтпригодность трубопроводов в течение всего периода эксплуатации (по ГОСТ Р 55990-2014). При использовании грунтового основания по II принципу при расчете ТП на прочность и устойчивость должны учитываться дополнительно напряжения от изгиба, вызванные неравномерной осадкой основания (по СП 284.1325800.2016 и ГОСТ Р 55990-2014).

Способ прокладки ТП выбирается в зависимости от температуры и физических свойств грунта. При чередовании просадочных многолетнемерзлых грунтов и талых грунтов целесообразно выполнять объединение участков до 5 км и более с устройством надземной прокладки. Для подземных трубопроводов в зоне распространения ММГ следует применять теплоизоляцию и балластировку трубопровода, термостабилизацию грунтов и др. мероприятия. Защиту от повреждений покрытия при подземной прокладке обеспечивают путем устройства подсыпки и присыпки из мягкого или мелкозернистого грунта (песка), а также применения защитных покрытий.

Глубину прокладки подземного ТП определяют принятым конструктивным решением, обеспечивающим надежность его работы с учетом требований охраны окружающей среды. При прокладке промысловых ТП на свайных основаниях проектом следует предусмотреть выполнение мероприятий, препятствующих пучению и просадке свай.

При проектировании оснований нефтегазопроводов в районах распространения ММГ следует выполнять расчеты (по СП 25.13330.2020):

- остывания транспортируемого по трубопроводу продукта для выявления его горячих и холодных участков;
- глубины оттаивания и промерзания грунта в основании подземных ТП;
- учитывающие просадки и термокарст при оттаивании, пучение при промораживании.

1.4 Мероприятия по стабилизации проектного положения

Учитывая перечисленные выше геокриологические явления и нормы проектирования зданий и сооружений на основаниях, представленных ММГ, и опираясь на проанализированные научную литературу и нормативную документацию, выделим в таблице 1.4.1 используемые решения для стабилизации проектного положения зданий и сооружений нефтегазового комплекса.

Таблица 1.4.1 – Проектные решения

№	Описание	Источники
1	предварительное оттаивание грунтов оснований с их последующим уплотнением	СП 25.13330.2020, СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014
2	замена льдистых грунтов непросадочными при оттаивании песчаными	СП 25.13330.2020, СП 45.13330.2017, ГОСТ Р 55990-2014, [9, 10, 12, 13, 14, 16, 17]
3	теплоизоляционные экраны	СП 25.13330.2020, [9, 17, 18]
4	использование СОУ	СП 25.13330.2020, ГОСТ Р 55990-2014, СП 284.1325800.2016, СП 45.13330.2017, СТО Газпром 2-2.1-435-2010, [10, 11, 13, 15, 17]

Продолжение таблицы 1.4.1

№	Описание	Источники
5	применение горизонтально- и вертикально-действующих систем охлаждения грунтов	СП 45.13330.2017, [11, 17]
6	укладка ТП с учетом ожидаемой деформации грунта	СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014
7	применение теплоизоляции	СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014, [9, 10, 13, 15, 16, 19]
8	управление режимами перекачки углеводородов для уменьшения теплового влияния ТП на ММГ (охлаждение перекачиваемого продукта)	СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014, [9, 11]
9	прокладка по типу «труба в трубе»	СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014
10	надземная прокладка трубопроводов (расположение сооружений на сваях)	СП 25.13330.2020, СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014, [9, 16]
11	применение компенсирующих устройств	СП 25.13330.2020, СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014, [9, 10, 17, 20]
12	обустройства дренажа и стока вод	ГОСТ Р 55990-2014, [9, 14, 17]
13	проведение мероприятий по сохранению или восстановлению растительного покрова	ГОСТ Р 55990-2014, [9]
14	балластировка трубопровода	СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014, [9, 13, 15, 17]

Продолжение таблицы 1.4.1

№	Описание	Источники
15	тепловая мелиорация	СП 45.13330.2017, ГОСТ Р 55990-2014, [12, 16, 21]
16	гидромелиорация	ГОСТ Р 55990-2014, [12, 16]
17	засоление грунтов	[12, 16, 21]
18	гидрофобизация грунтов	[12, 16, 21]
19	техническая мелиорация	СП 45.13330.2017, ГОСТ Р 55990-2014, СП 284.1325800.2016, СТО Газпром 2-2.1-435-2010, [12, 16, 17]
20	использование анкерных свай	[12, 14]
21	применение опор для фиксации положения ТП (устройство подземных опор на свайном основании в подземных ТП)	СП 284.1325800.2016, ГОСТ Р 55990-2014, СП 410.1325800.2018, [9]

На основе анализа, заключим, что методов предотвращения изменения проектного положения зданий и сооружений существует достаточно много, при этом в таблице 1.4.1 отражены не все из них.

В последующих разделах будет представлен анализ использованных проектных решений на примере промышленного ТП, а именно его перехода через автомобильную дорогу, т.к. настоящая работа посвящена этому объекту.

2 Описание объекта анализа

Объектом анализа настоящей работы является переход промышленного ТП через автомобильную дорогу, который принадлежит некоторой компании N.

Перед составлением описания перехода обратимся к нормам проектирования переходов через искусственные преграды, регламентированным СП 284.1325800.2016 и ГОСТ Р 55990-2014.

2.1 Нормы проектирования переходов через автомобильные дороги

Переходы ТП через автомобильные дороги должны предусматриваться в местах прохождения дорог по насыпям. Прокладка ТП через тело насыпи допускается, но с определенными требованиями, установленными в СП 284.1325800.2016. Пересечение автомобильных дорог в местах поворота ТП в плане не допускается. Угол пересечения ТП с дорогой должен быть 90° , но не менее 60° .

Переходы ТП через автомобильные дороги прокладываются следующими способами: открытым (траншейным), методом продавливания, методом горизонтального бурения, микротоннелированием, методом горизонтально-направленного бурения, «труба в трубе», надземной прокладкой. Допускается прокладка без устройства защитного футляра на участках транспортирования продукта с отрицательной температурой и в районах распространения ММГ из-за возможности попадания воды в межтрубное пространство и замерзания ее.

Для участков переходов ТП, выполняемых с устройством защитных футляров из стальных труб, внутренний диаметр футляра должен определяться из условия производства работ и конструкции переходов и должен быть больше наружного диаметра трубопровода не менее, чем на 200 мм. Толщину стенки

стальной трубы футляра следует принимать не менее $1/70$ его номинального диаметра, но не менее 10 мм.

Концы футляра должны выводиться на расстояние 25 м при прокладке ТП через автомобильные дороги от бровки земляного полотна, но не менее 2 м от подошвы насыпи. Концы футляров, устанавливаемых на участках переходов нефтепроводов, нефтегазопроводов и нефтепродуктопроводов, водоводов через автомобильные дороги III, IV и V категорий, а также через внутренние дороги промышленных предприятий и вдольтрассовые проезды, должны быть выведены на 5 м от бровки земляного полотна.

На подземных переходах ТП через автомобильные дороги концы защитных футляров должны иметь уплотнения из диэлектрического материала.

Заглубление участков переходов ТП под автомобильными дорогами всех категорий – не менее 1,4 м от верха покрытия дороги до верхней образующей защитного футляра, а в выемках и на нулевых отметках – не менее 0,5 м от дна кювета, водоотводной канавы или дренажа.

Положение ТП в футляре должно быть зафиксировано по всей длине перехода опорно-центрирующими устройствами с диэлектрическим покрытием, обеспечивающими сохранность изоляционного покрытия труб.

При прокладке в футляре ТП с положительной температурой транспортируемого продукта в районе распространения ММГ необходимо предусматривать мероприятия, исключаящие растепление грунта (теплоизоляция футляра, устройство двух вытяжных свечей, термостабилизаторы и др.).

Дополнительно, необходимо указать, что расстояние в свету между ТП в одной траншее должно быть не менее 500 мм для ТП до DN 300 включительно и не менее двух диаметров для ТП DN 400 и более.

2.2 Объект компании N

Переход промышленного ТП через автомобильную дорогу располагается в северной части РФ. Общая схема перехода представлена на рисунке 2.2.1.

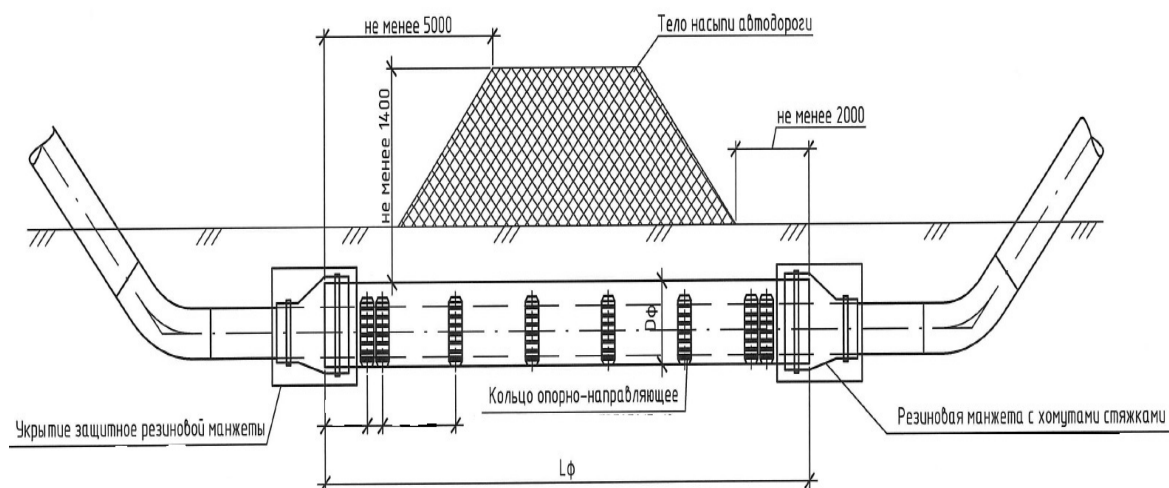


Рисунок 2.2.1 – Схема перехода промышленного ТП

Характеристики ТП, его изоляции и защитного футляра представлены в таблицах А.1-А.3 приложения А.

Переход представляет собой общий коридор из нескольких ТП разного назначения (рисунок 2.2.2).

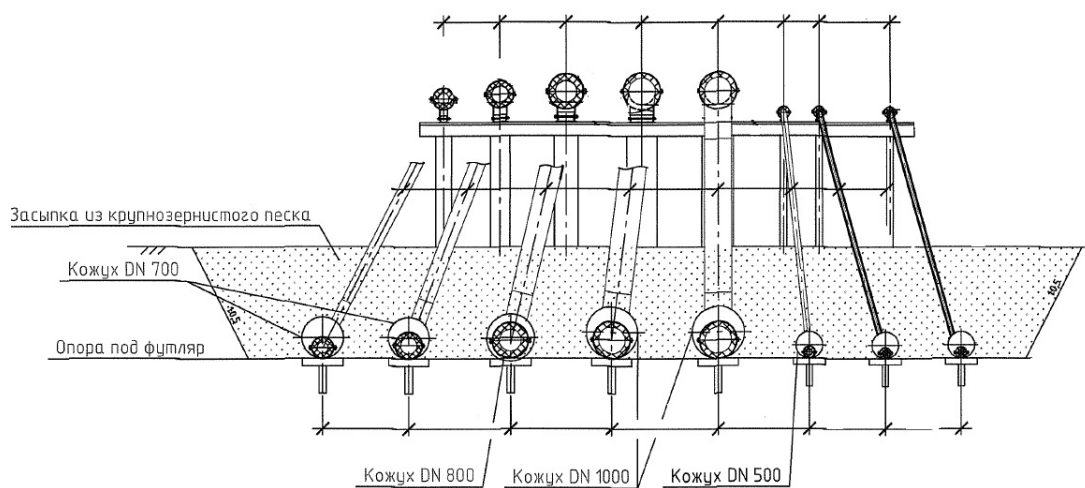


Рисунок 2.2.2 – Переход ТП в поперечном сечении

В данном общем коридоре с 2016 года находятся в эксплуатации водовод (слева на рисунке 2.2.2 второй) диаметром 325 мм и с толщиной стенки 22 мм и нефтегазопровод (слева на рисунке 2.2.2 четвертый) диаметром 530 мм. С 2020 года дополнительно подключён водовод (слева на рисунке 2.2.2 третий) диаметром 426 мм и с толщиной стенки 24 мм. Температура воды составляет 43 °С, давление ее перекачки – 22,6 кгс/см².

Опора под футляр представляет собой ростверк, приваренный к свае длиной 10 м. Заглубление участка перехода ТП под автомобильной дорогой составляет примерно 1,8 м от верха покрытия дороги до верхней образующей защитного футляра. Дорога IV категории с интенсивностью движения от 100 до 200 ед. техники/сут. Техника представлена в основном машинами с массой более 3,5 т. Средняя высота дорожной насыпи от земной поверхности – 0,44 м. Дорожное покрытие представлено бетонными плитами.

В таблице А.4 приложения А отражены характеристики грунтов, рассматриваемой территории. Данные по литологическому строению и термометрической скважине показаны в таблице А.5 приложения А.

Общая схема перехода в продольном направлении показана на рисунке 2.2.3.

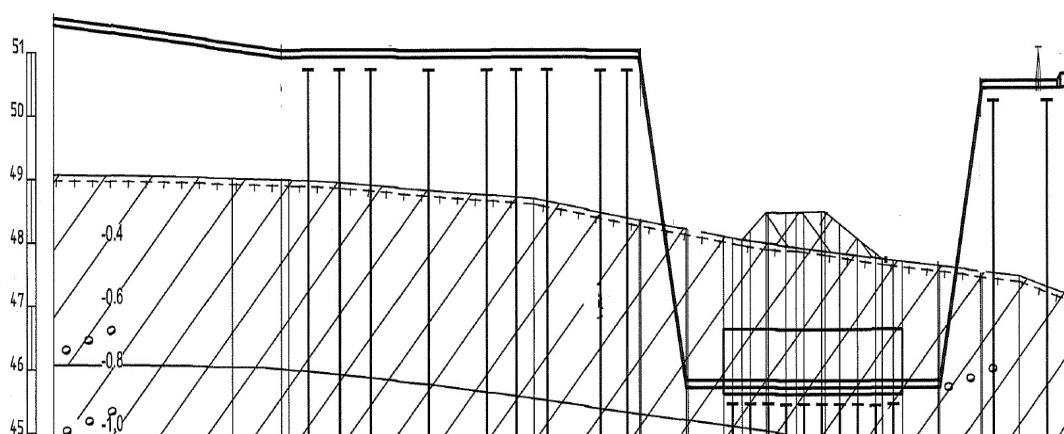


Рисунок 2.2.3 – Переход ТП через автомобильную дорогу (продольный вид): длина данного участка составляет 114 м

Климатические условия эксплуатации перехода промыслового ТП через автомобильную дорогу представлены в таблице А.6 приложения А

2.3 Мероприятия по осмотру перехода через автомобильную дорогу

Согласно нормативной документации компании N, необходимо 2 раза в год проводить осмотр перехода через автомобильную дорогу, выявлять просадки грунта и проверять целостность дорожного полотна.

При обследовании переходов ТП через автомобильные дороги необходимо контролировать:

- заглубление участков ТП и минимальные расстояния от концов защитного кожуха (футляра) на соответствие проектной документации;
- состояние открытых (видимых) частей защитных кожухов (футляров) ТП, футеровки, опор, манжет, вытяжных свечей, расстояния от вытяжной свечи до оси ТП, подошвы земляного полотна автомобильной дороги;
- состояние смотровых и отводных колодцев, отводных канав с целью выявления утечек нефти, нарушений земляного покрова, опасных для ТП проседаний и выпучиваний грунта в местах пересечения ТП автомобильными дорогами всех категорий, а также установку знаков, запрещающих остановку транспорта.

2.4 Проблематика рассматриваемого участка

Для контроля просадки грунтов основания футляра на торцах кожуха монтируются глубинные грунтовые деформационные марки (ГГДМ). По данным, снятым по ГГДМ, в период с 2016 г по 2021 г общий коридор не изменил свое проектное положение. Однако с левой и с правой сторон (надземная часть) ТП приподнялись над опорами на 34 см суммарно за пять лет (рисунок 2.4.1).

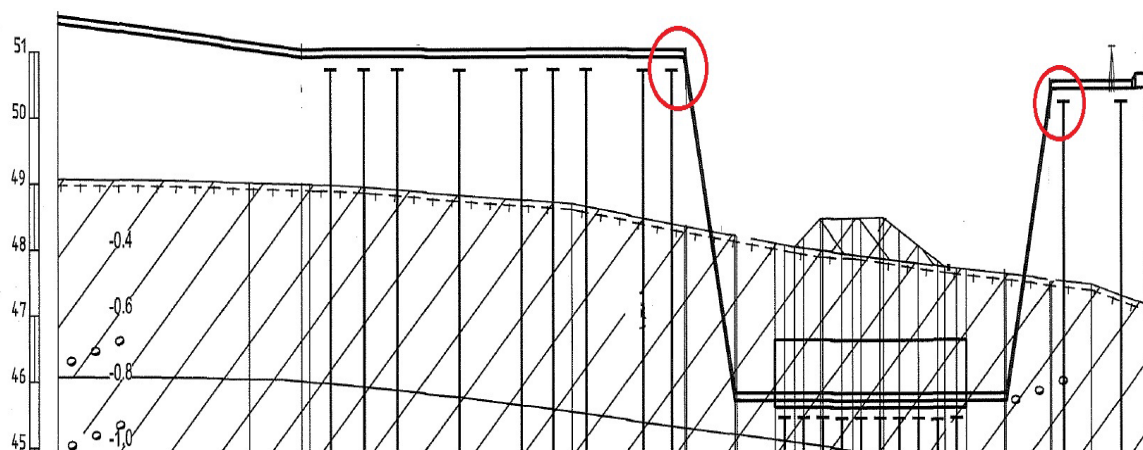


Рисунок 2.4.1 – Места поднятия труб над опорами

Причина подъема труб над опорой надземной части – морозное пучение грунта в месте перехода надземной части в подземную из-за теплового воздействия ТП и отсутствия средств, предотвращающих растепление грунта. Стоит заметить, что, по данным таблицы А.3 приложения А, толщина стенки футляра (8 мм) не согласуется с требованиями ГОСТ Р 55990-2014 (минимум 10 мм). Следовательно, необходимо принять проектное решение для устранения указанной проблемы, а также рассчитать требуемую толщину стенки футляра из условия прочности.

3 Анализ использованных проектных решений при обустройстве рассматриваемого перехода ТП через автомобильную дорогу

3.1 Замена льдистых грунтов песчаными

Одно из распространенных проектных решений при сооружении ТП на территории распространения ММГ – замена талых грунтов на песчаный, что было использовано при обустройстве рассматриваемого участка.

Данное проектное решение рекомендуется СП 25.13330.2020, ГОСТ Р 55990-2014 и СП 45.13330.2017, а также его применение отображено в рассмотренных источниках (см. таблицу 1.4.1). Замена льдистых грунтов на песчаные обусловлено тем, что у них *больше коэффициент влагопереноса* [7] в сравнении с другими грунтами, т.е. пески не способны задерживать в себе большое количество влаги. В глинистых грунтах меньшие величины коэффициента влагопереноса обусловлены более тонкими влагопроводными каналами, т.е. глины обладают в сравнении с песками *большей дисперсностью*, следовательно, способны дольше удерживать влагу. Эти факторы способствует предотвращению возникновения процессов морозного пучения и осадок при растеплении песчаных грунтов.

Однако стоит заметить, что несмотря на свое преимущество, у песков есть и *недостаток*: они обладают большим коэффициентом теплопроводности нежели другие грунты (примерно в 1,4-1,8 раз теплопроводность у песчаных грунтов выше, чем у глинистых).

3.2 Применение теплоизоляции ТП

Теплоизоляция трубопроводов применяется повсеместно, и ее использование рекомендуется СП 284.1325800.2016 и ГОСТ Р 55990-2014. Согласно СП 409.1325800.2018, к теплоизоляции промышленных ТП предъявляются определенные требования:

- соответствие нормам безопасности и защиты окружающей среды;
- обеспечение эксплуатационной эффективности ТП;
- изготовление с применением современных технологий.

Толщина слоя тепловой изоляции зависит от диаметра ТП, температуры транспортируемого флюида, вида прокладки, температуры окружающей среды, применяемого теплоизоляционного материал и др. факторов и определяется путем теплотехнических расчетов в зависимости от конкретного ТП или его участков.

Достоинства и недостатки применяемого теплоизоляционного материала определяются только экономической целесообразностью, т.к. промышленные ТП в условиях распространения ММГ должны иметь изоляционное покрытие для предотвращения таких процессов, как отложения парафинов и солей, а также увеличения мощностей перекачки.

3.3 Прокладка по типу «труба в трубе»

На рассматриваемом участке реализована прокладка по типу «труба в трубе», представленная расположением промышленного ТП в защитном футляре. Данное проектное решение регламентируется СП 284.1325800.2016 и ГОСТ Р 55990-2014. Требования, предъявляемые к такой прокладке, отражены в подразделе 2.1.

Футляр используется для *защиты* от внешних *нагрузок* (например, давление грунта), тем самым предотвращая изменение напряженно-деформированного состояния прокладываемого в нем ТП, а также для *предохранения от выбросов* транспортируемого флюида. Таким образом, продлевается период эксплуатации ТП.

Однако *недостатками* прокладки по типу «труба в трубе» являются:

- развитие коррозионных процессов при попадании воды в пространство между ТП и футляром;

– увеличение объема замерзающей воды при расположении перехода через автомобильную дорогу на территории распространения ММГ (по [22] и ГОСТ Р 55990-2014).

Проблема наличия воды в межтрубном пространстве решается за счет использования торцевых уплотнений, предназначенных для герметизации области между ТП и защитным футляром, которые называются герметизирующими манжетами. Для предохранения манжеты от воздействия грунта засыпки на нее монтируется защитное укрытие (рисунок 3.3.1).

Для предотвращения контакта футляра с ТП, повреждений ТП при его протаскивании через футляр и обеспечения проектного положения ТП используются опорно-направляющие кольца (рисунок 3.3.2).



Рисунок 3.3.1 – Защитное укрытие



Рисунок 3.3.2 – Опорно-направляющие кольца

3.4 Устройство подземных опор на свайном основании в подземных ТП

Устройство подземных опор на свайном основании в подземных ТП (применение опор для фиксации положения ТП) рекомендуется в качестве проектного решения СП 410.1325800.2018, ГОСТ Р 55990-2014 и СП 284.1325800.2016. Реализация данного способа на рассматриваемом участке отражена в размещении ростверков со сваями под защитными футлярами. При этом сваи заглублены до мерзлого слоя. Следовательно, это позволяет

предотвратить осадку футляров при образовании ореола оттаивания вокруг действующих ТП, а также при температуре воздуха выше нуля, т.е. при естественном растеплении грунта. Таким образом, обеспечивается требуемое проектное положение перехода через автомобильную дорогу.

Однако обустройство подземных опор на свайном основании в подземных ТП должно быть обосновано технико-экономическим расчетом (ввиду увеличения металлоемкости), что является *недостатком* данного проектного решения. На рассматриваемом участке использовано по 10 ростверков со сваями на каждый ТП в общем коридоре.

4 Моделирование перехода ТП через автомобильную дорогу

Согласно СП 25.13330.2020, для совместного расчета системы «основание (вмещающий массив) – трубопровод» могут использоваться аналитические или численные (метод конечных элементов, метод конечных разностей и др.) методы. При использовании численных методов расчетная модель «основание – трубопровод» должна адекватно отражать конструктивные особенности трубопровода, характеристики ММГ и схемы их взаимодействия.

Следовательно, для определения теплового воздействия ТП на окружающий его грунт, а также для выбора необходимого проектного решения для устранения рассматриваемой проблемы воспользуемся программным комплексом Frost 3D для моделирования распределения тепловых потоков.

4.1 Описание Frost 3D

Программный комплекс Frost 3D [23] позволяет получать научно-обоснованные прогнозы тепловых режимов ММГ в условиях теплового влияния ТП, добывающих скважин, гидротехнических и др. сооружений с учетом термостабилизации грунта. Программный комплекс разработан на основе десятилетнего опыта компании Simmakers в области программирования, вычислительной геометрии, численных методов, трехмерной визуализации и распараллеливании вычислительных алгоритмов.

Программа необходима при проектировании: ТП наземных и подземных, автомагистралей и железных дорог, фундаментов и оснований, свай и скважин, теплоизоляции зданий и сооружений, теплотрасс, тоннелей и шахт, опор ЛЭП, дамб и плотин.

Frost 3D сертифицирован в Российской Федерации и соответствует стандартам: СП 25.13330.2012, СП 36.13330.2012, СП 47.13330.2012,

СП 50.13330.2012, СП 23-101-2004, СП 61.13330.2012, СП 41-103-2000, СТО Газпром 2-2.1-390-2009, СТО Газпром 2-2.1-435-2010 и др.

4.2 Особенности моделирования поставленной задачи

4.2.1 Особенности теплотехнического расчета

По своему многолетнему опыту проектирования АО «ТомскНИПИнефть» выделило несколько основных факторов [10], которые необходимо учитывать при выполнении теплотехнических расчетов:

1. Расчеты протяженных участков рекомендуется проводить с их разбиением на отдельные участки небольшой протяженности (от 600 до 1000 м) для учета неоднородности инженерно-геологических профилей.

2. Граница участка должна быть проведена на однородных условиях, т.е. без резких изменений температуры грунтов, геологических слоев, положения мёрзлых массивов для уменьшения вероятной погрешности при анализе результатов.

3. Рекомендуется оставлять на расчетном участке однородный поверхностный геологический слой, т.к. для различных поверхностных условий требуется применять различные граничные условия третьего рода.

4.2.2 Допущения и упрощения при подготовке модели

Ввиду наличия ограничений во временных и материально-технических ресурсах были приняты следующие допущения и упрощения при построении модели теплового взаимодействия ТП с основанием:

1. Из-за незначительной теплопередачи в системе «футляр-ростверк-свая-грунт» моделирование свай выполнялось путем создания только их наполнителя (цементобетон) без внешней стальной части.

2. Ростверки для упрощения расчетной сетки приняты в виде сплошных тел уменьшенного размера.

3. ТП расположены по центру футляров, а не в их нижней части. Это необходимо для исключения явного моделирования, что в значительной степени увеличивает объем расчетной сетки (и, как следствие, значительно возрастает время вычисления поставленной задачи).

4. Среднемесячная температура воздуха не учитывает глобального потепления.

5. Согласно нормативной документации компании N, переход ТП через автомобильную дорогу должен сохранять свое проектное положение в течении 25 лет. Однако моделирование во всех случаях выполнялось только на четыре года (с 2016 по 2020 гг.).

6. Третий ТП, подключенный с 2020 года, не рассматривался при моделировании ввиду наличия сильного теплового воздействия со стороны уже работающих двух других на протяжении четырех лет.

7. Для уменьшения объема расчетной сетки принята симметричность модели относительно продольной оси дороги, а также уменьшена длина свай с 10 до 2 м.

8. Размеры расчетной сетки варьируются в пределах от 1,8 млн. до 2,5 млн. ячеек.

4.3 Решение задачи

На основе рассмотренных особенностей теплотехнического расчета и анализа участка перехода промыслового ТП через автомобильную дорогу была выбрана расчетная прямоугольная область с размерами 18 м (по оси абсцисс) и 20 м (по оси ординат) и глубиной 11,3 м. В эту область включены выход подземной части ТП на поверхность и подземная часть с футляром. После подготовки расчетной двумерной области она была восстановлена в 3D-модель.

Далее с использованием маркеров сгущения и разбиения и расстановки приоритетов между элементами моделирования была подготовлена трехмерная расчетная сетка.

Моделирование тепловых потоков проводилось в период с начала эксплуатации участка (с 2016 года) по июль 2020 года. В качестве контрольных месяцев выбраны июль и январь как имеющие наибольшую и наименьшую среднемесячные температуры соответственно. Результаты моделирования отражены в таблице Б.1 приложения Б.

Примечание. Введены следующие понятия и обозначения на рисунках во всех таблицах приложения Б:

1. ВВ – водовод.
2. НГП – нефтегазопровод.
3. Синие бергштрихи отображают границы ореола оттаивания. Направление бергштриха – в сторону уменьшения температуры грунта.
4. Величина глубины оттаивания измеряется от нижней образующей трубы до границы, обозначенной бергштрихами.
5. Изолинии отражают температуру в градусах Цельсия.
6. Слева на шкале показаны глубины залегания тех или иных объектов в мм.

В итоге за четыре года эксплуатации всего два ТП образовали глубину оттаивания в 2,3 м. Растепление грунтов стало распространяться до мерзлых слоев (суглинок твердомерзлый) из-за чего, вероятно, усилился приток к фронту промерзания грунтовой влаги и начались процессы пучения, которые привели к поднятию ТП над опорой надземной части.

Примечание. Дальнейшие сравнения эффективности принятых тех или иных решений осуществляются с данными из таблицы Б.1 приложения Б на 19.07.2020.

4.4 Верификация и валидация численного решения

Для принятия правильного проектного решения необходимо подтверждение корректности численного решения аналитическим (верификация), а также натурными экспериментами (валидация). Как отмечают

6 Расчет защитного футляра на прочность

6.1 Результаты анализа исходных данных

В ходе анализа рассматриваемого перехода промышленного ТП через автомобильную дорогу было выявлено несоответствие толщины стенки защитного футляра для находящегося в эксплуатации нефтегазопровода диаметром 530 мм.

Как указывалось ранее, толщину стенки стальной трубы футляра следует принимать не менее $1/70$ его номинального диаметра, но не менее 10 мм. По исходным данным (таблица А.3 приложения А), при диаметре кожуха 1020 мм толщина стенки составляет 8 мм, однако она должна быть не менее 15 мм.

6.2 Расчеты

Методика расчета защитного кожуха принята из [39]. Необходимо отметить, что при расчете давления от автомобильного транспорта полотно дороги рассматривается как балка конечной жесткости на упругом основании.

Порядок прочностного расчета защитного футляра представлен в приложении В.

Таким образом, расчетная толщина стенки футляра составляет 11 мм. Однако, как указывалось ранее, минимальное значение рассматриваемого параметра должно быть 15 мм. Окончательно принимаем по ГОСТ 10704-91 толщину стенки защитного футляра, равную 15 мм, что почти в два раза больше фактической (8 мм).

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б8Б	Никулин Евгений Валерьевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» / «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

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

1. <i>Стоимость ресурсов работ, выполняемых в соответствии с проектным решением: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материальные затраты, руб.: 1) СОУ первый вариант – 230373,72; 2) СОУ второй вариант – 460747,44; 3) криогель – 107928,20; 4) изоляционные материалы – 257632,00. ОФ и амортизация, руб.: 1) СОУ первый вариант – 13087,30; 2) СОУ второй вариант – 14508,07; 3) криогель – 23216,33; 4) изоляционные материалы – 37142,79. Заработная плата, руб.: 1) СОУ первый вариант – 224834,94; 2) СОУ второй вариант – 449669,88; 3) криогель – 290230,78; 4) изоляционные материалы – 441289,99. Страховые взносы, руб.: 1) СОУ первый вариант – 51439,51; 2) СОУ второй вариант – 102879,02; 3) криогель – 66401,28; 4) изоляционные материалы – 100961,80. Накладные расходы, руб.: 1) СОУ первый вариант – 51973,55; 2) СОУ второй вариант – 102780,44; 3) криогель – 48777,66; 4) изоляционные материалы – 83702,66.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Годовая норма амортизации – 20%. Накладные расходы – 10% от соответствующей статьи калькуляции. Районный коэффициент – 1,7. Северная надбавка – 80%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Страховые взносы по обязательному страхованию на выплаты по оплате труда работников, включающие: – страховые взносы на обязательное пенсионное страхование, 22%; – страховые взносы на обязательное медицинское страхование, 5,1%; – страховые взносы на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, 2,9%; – страховые взносы на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, 0,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Определение состава работ, выполняемых в соответствии с проектным решением, и оценка их длительности</i>	1. Анализ состава работ и их продолжительности. 2. Составление диаграмм Ганта.
2. <i>Планирование и формирование бюджета проведения работ в соответствии с проектным решением</i>	1. Определение статей калькуляции затрат. 2. Формирование бюджета работ.
3. <i>Определение экономической эффективности проведения работ в соответствии с проектным решением</i>	1. Определение относительной себестоимости работ. 2. Анализ экономической эффективности работ на основании относительной себестоимости.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Диаграммы Ганта 2. Столбчатые диаграммы затрат по статьям калькуляции	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.03.22
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Криницына З.В.	к.т.н.		22.03.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Никулин Евгений Валерьевич		22.03.22

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

По результатам выполнения теплотехнических расчетов с помощью программного комплекса Frost 3D предлагаются следующие проектные решения (их компоновка предложена в подразделе 5.8):

- 1) расстановка СОУ по первой схеме;
- 2) расстановка СОУ по второй схеме;
- 3) обработка грунта криогелем;
- 4) монтаж теплоизоляционного экрана.

Данные проектные решения требуют экономического обоснования их реализации. Дополнительно необходим совместный анализ затрат на проведение тех или иных работ и получаемого технологического эффекта.

7.1 Определение состава работ, выполняемых в соответствии с проектным решением, и оценка их длительности

Все работы, выполняемые по проектному решению, можно разделить на подготовительные, земляные (в случае их необходимости), монтажные и завершающие (таблица 7.1.1).

Таблица 7.1.1 – Работы по проектным решениям (1)

Проектное решение	Работы	
	Подготовительные	Земляные
СОУ по первой схеме	оформление разрешительной документации, обеспечение безопасного проведения работ, уточнение положения трубопровода и защитного футляра	бурение скважин
СОУ по второй схеме		
Обработка грунта криогелем		
Монтаж экрана	оформление разрешительной документации, обеспечение безопасного проведения работ, уточнение положения трубопровода и защитного футляра, снятие плодородного слоя почвы и перемещение его в отвал	разработка совмещенной траншеи; планировка отвала грунта со стороны движения ремонтно-строительной колонны, частичная засыпка уложенного трубопровода грунтом, засыпка траншеи минеральным грунтом

Таблица 7.1.2 – Работы по проектным решениям (2)

Проектное решение	Работы	
	Монтажные	Завершающие
СОУ по первой схеме	установка СОУ	оформление исполнительной документации
СОУ по второй схеме		
Обработка грунта криогелем	нагнетание в грунт криогеля	
Монтаж экрана	укладка изоляционного материала на дно и откосы траншеи	оформление исполнительной документации, техническая рекультивация плодородного слоя почвы

Продолжительность каждого вида работ складывается из: рельефа местности, где производятся работы; норм времени на отдельные операции; времени на организацию проведения работ и т.д. На основе продолжительности работ была определена общая длительность строительного подряда с помощью диаграммы Ганта для каждого проектного решения (таблицы 7.1.3-7.1.6). Продолжительность рабочего дня регулируется согласно ст. 91, 94 ТК РФ [41].

Таблица 7.1.3 – Расстановка СОУ по первой схеме

Работы	Длительность	1 д.	2 д.	3 д.
Подготовительные	1 смена			
Земляные	1 смена			
Монтажные	1 смена			
Завершающие	1 смена			

Таблица 7.1.4 – Расстановка СОУ по второй схеме

Работы	Длительность	1 д.	2 д.	3 д.
Подготовительные	1 смена			
Земляные	1 смена			
Монтажные	1 смена			
Завершающие	1 смена			

Таблица 7.1.5 – Монтаж теплоизоляционного экрана

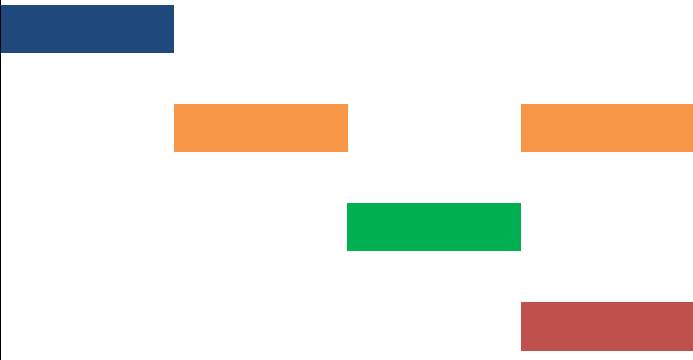
Работы	Длительность	1 д.	2 д.	3 д.	4 д.
Подготовительные	1 смена				
Земляные	2 смены				
Монтажные	1 смена				
Завершающие	1 смена				

Таблица 7.1.6 – Обработка грунта криогелем

Работы	Длительность	1 д.	2 д.	3 д.	4 д.
Подготовительные	1 смена				
Земляные	2 смены				
Монтажные	1 смена				
Завершающие	1 смена				

7.2 Планирование и формирование бюджета проведения работ в соответствии с проектным решением

7.2.1 Материальные затраты

В общих чертах, к материальным относятся затраты на:

- сырье и материалы;
- материалы, используемые на хозяйственные нужды;
- приобретение инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования, спецодежды и др. средств индивидуальной и коллективной защиты, не являющихся амортизируемым имуществом;
- приобретение топлива, воды, энергии любых видов, расходуемых на технологические нужды, на трансформацию и передачу энергии;

- приобретение работ и услуг производственного характера, выполняемых сторонними организациями;
- содержание и эксплуатацию основных средств и т.д.

В настоящей работе статьями материальных расходов являются: СОУ, криогель (ПВС) и изоляционные материалы. Смета по всем пунктам материальных затрат представлена в приложении Д. Итоговые издержки по каждой статье калькуляции представлены на графике 7.2.1.1.



График 7.2.1.1 – Материалы

7.2.2 Фонд оплаты труда и страховые взносы

К затратам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам;
- начисления стимулирующего характера (премии, надбавки);
- начисления стимулирующего и (или) компенсирующего характера, связанные с режимом работы и условиями труда;
- стоимость бесплатно предоставляемых работникам коммунальных услуг, питания и продуктов, бесплатного жилья;
- расходы на приобретение (изготовление) выдаваемых работникам бесплатно форменной одежды и обмундирования, которые остаются в личном постоянном пользовании работников, и т.д.

В настоящей работе фонд оплаты труда (ФОТ) составляется для выплаты заработной платы следующим работникам: слесарь-монтажник, машинист экскаватора, машинист бульдозера, машинист насосной установки, машинист буровой установки.

Общая формула, использованная для расчета заработной платы работников, имеет вид:

$$З. П. = (Нв \cdot Чс \cdot РС + Н) \cdot n, \quad (7.2.2.1)$$

где З.П., руб. – заработная плата;

Нв, ч – норма времени;

Чс, руб./ч – часовая ставка;

РС – районный коэффициент и северная надбавка;

Н, руб. – надбавка;

n – число работников.

Смета ФОТ представлена в приложении Д, а итоговые затраты по каждому проектному решению – на графике 7.2.2.1.



График 7.2.2.1 – Заработная плата

Российское законодательство (ст. 425 гл. 34 НК РФ и ст. 1 N 179-ФЗ [42, 43]) устанавливает обязательные страховые взносы по обязательному страхованию на выплаты по оплате труда работников (30,2 %), включающие:

– страховые взносы на обязательное пенсионное страхование, 22%;

- страховые взносы на обязательное медицинское страхование, 5,1%;
- страховые взносы на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, 2,9%;
- страховые взносы на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, 0,2%.

При этом необходимо учесть, что вахтовым работникам вместо суточных выплачиваются надбавки (ст. 302 ТК РФ [41]). Данные надбавки не облагаются страховыми взносами, что обозначено в ст. 297 ТК РФ и ст. 422 НК РФ [41, 42], и не учитываются районным коэффициентом.

Страховые взносы были рассчитаны на группу работников по следующей формуле:

$$С. В. = (З. П. - Н \cdot n) \cdot \frac{30,2\%}{100\%}, \quad (7.2.2.2)$$

где С.В., руб. – страховые взносы;

30,2% – процент страховых взносов.

Итоговые затраты на страховые взносы (приложение Д) представлены на графике 7.2.2.2.

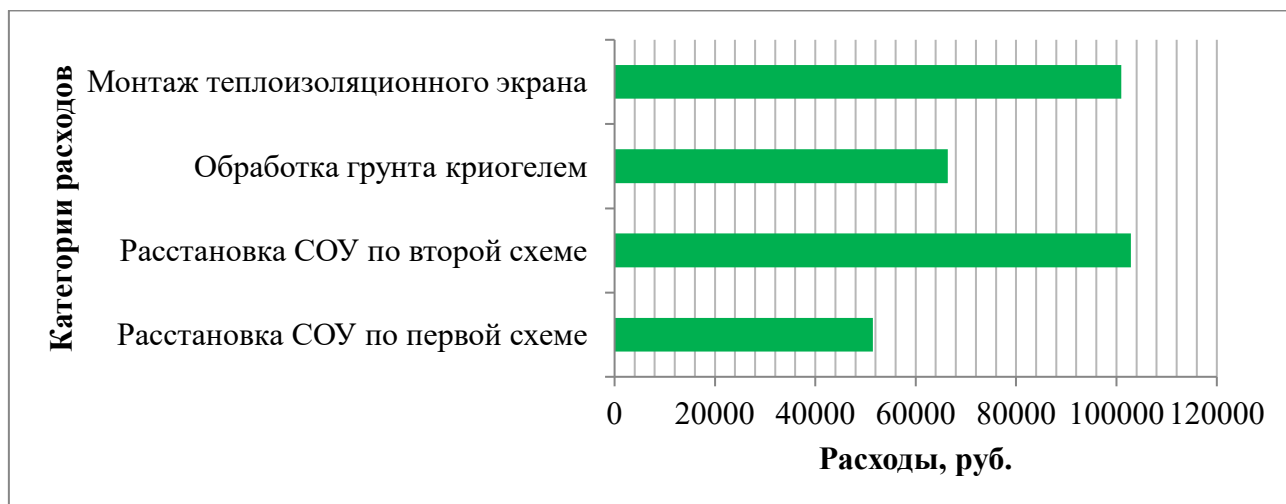


График 7.2.2.2 – Страховые взносы

7.2.3 Основные фонды и амортизация

Основные средства (фонды) – это средства труда, участвующие в производственном процессе, сохраняя при этом свою натуральную форму,

предназначенные для нужд основной деятельности организации и имеющие срок использования более года [44]. По мере износа стоимость основных средств уменьшается и переносится на себестоимость с помощью амортизации.

Самый простой метод амортизации – линейная амортизация. Линейный способ начисления амортизации предполагает постепенное и равномерное накопление суммы износа в течение всего периода использования. Метод равномерного списания общей суммы износа вычисляется проще всего, и, соответственно, наиболее часто встречается на практике.

В данной работе формула расчета амортизационных отчислений линейным методом имеет вид:

$$A = x \frac{Бс}{Т_{\text{экс}}} \cdot \frac{На}{100\%}, \quad (7.2.3.1)$$

где А, руб. – амортизационные отчисления;

x – количество ОФ;

Бс, руб. – балансовая стоимость ОФ;

На, % – годовая норма амортизации;

$T_{\text{экс}}$ – период эксплуатации оборудования, за который должны быть произведены амортизационные отчисления.

В настоящей работе $T_{\text{экс}}$ принято в качестве среднего количества циклов работ за год. Под циклом работ понимается в данном случае все проведенные работы за отведенный промежуток времени (длительность подряда) машинами и оборудованием.

В настоящей работе в качестве основных производственных средств выступают: бурильная установка на прицепе, одноковшовый экскаватор, бульдозер, передвижная насосная установка, автомобиль Урал «Вахтовка».

Итоговые по данному разделу затраты на амортизационные отчисления (приложение Д) представлены на графике 7.2.3.1.



График 7.2.3.1 – Амортизация ОФ

7.2.4 Накладные расходы

Накладные расходы – это косвенные издержки, возникающие дополнительно к основным затратам.

К накладным расходам в общем случае относятся:

- затраты на текущий ремонт зданий и сооружений, оборудования;
- заработная плата, обучение и содержание административно-управленческого аппарата,
- расходы по обслуживанию транспортных средств, находящихся на балансе компании;
- арендная плата за офис, склад продукции;
- затраты, возникшие в связи с простоем, появлением бракованной продукции;
- затраты на рекламу, консультационные услуги;
- обслуживание основного производства и т.д.

Также существуют различные методы расчета накладных расходов: пропорционально ФОТ работников, объему продаж, комбинированные способы и др. В настоящей работе представлен метод прямого счета по каждой из статей затрат. За размер накладных расходов принято 10% (приложение Д) от соответствующей статьи затрат (график 7.2.4.1).



График 7.2.4.1 – Накладные расходы

7.2.5 Себестоимость подрядных работ

Зная затраты по всем статьям калькуляции, определим для каждого проектного решения (приложение Д) общую себестоимость подрядных работ (график 7.2.5.1).

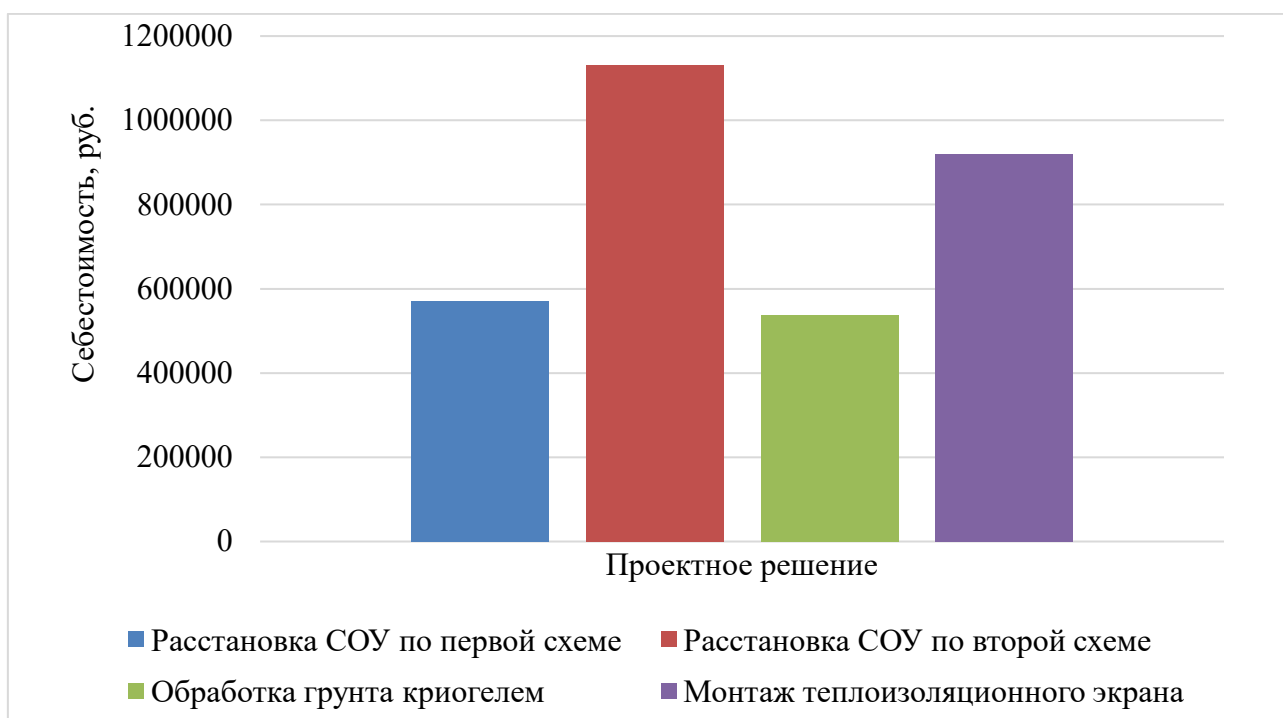


График 7.2.5.1 – Себестоимость подрядных работ

7.3 Определение экономической эффективности проведения работ в соответствии с проектным решением

Для оценки экономической эффективности проведения работ в соответствии с проектным решением примем во внимание технологическую эффективность того или иного решения. Для выполнения расчетов возьмем весовой коэффициент, учитывающий глубину оттаивания под ТП, через который вычислим относительную себестоимость подрядных работ по формуле:

$$ОС = \chi \cdot С, \quad (7.3.1)$$

где ОС, руб. – относительная себестоимость;

χ – весовой коэффициент, учитывающий глубину оттаивания под ТП;

С, руб. – себестоимость подрядных работ.

Зная все необходимые параметры, приведем итоги вычислений в таблице 7.3.1.

Таблица 7.3.1 – Оценка экономической эффективности проведения работ

Проектное решение	χ	С, руб.	ОС, руб.
Расстановка СОУ по первой схеме	0,160	571709,02	91718
Расстановка СОУ по второй схеме	0,011	1130584,85	12092
Обработка грунта криогелем	0,535	536554,24	286927
Монтаж теплоизоляционного экрана	0,294	920729,24	270803

Вывод по разделу

Наиболее комплексным решением относительно состава работ является монтаж теплоизоляционного экрана. Что касается временных затрат, то расстановка СОУ по первой или второй схеме предполагает проведение работ за более короткие сроки в сравнении с другими проектными решениями.

Исходя из результатов расчётов, предложенные варианты обустройства перехода ТП через автомобильную дорогу располагаются в следующей последовательности по себестоимости подрядных работ (по убыванию):

- 1) расстановка СОУ по второй схеме;
- 2) монтаж теплоизоляционного экрана;
- 3) расстановка СОУ по первой схеме;
- 4) обработка грунта криогелем.

Однако по итогу оценки экономической эффективности посредством анализа технологической принимаем проектное решение, подразумевающее расстановку СОУ по второй схеме, ввиду наименьшей относительной себестоимости (12092 руб.).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б8Б	Никулин Евгений Валерьевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» / «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Тема ВКР:

Обеспечение проектного положения промыслового трубопровода при его переходе через автомобильную дорогу на территории многолетнемерзлых грунтов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение – характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения; – описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации.	<i>Объект исследования:</i> переход промыслового трубопровода через автомобильную дорогу на территории распространения многолетнемерзлых грунтов. <i>Область применения:</i> подземные трубопроводы, проложенные на территории распространения многолетнемерзлых грунтов. <i>Рабочая зона:</i> полевые условия. <i>Размеры климатической зоны:</i> 15*25 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> сезонно-охлаждающие устройства (СОУ), изоляционные материалы, криогель, бурильная установка на прицепе, автомобиль Урал «Вахтовка», одноковшовый экскаватор, бульдозер, передвижная буровая установка, передвижная насосная установка. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> обеспечение безопасного проведения работ, уточнение положения трубопровода и защитного футляра, снятие плодородного слоя почвы и перемещение его в отвал, разработка совмещенной траншеи, планировка отвала грунта со стороны движения ремонтно-строительной колонны, частичная засыпка уложенного трубопровода грунтом, засыпка траншеи минеральным грунтом, установка СОУ, бурение скважин, укладка изоляционного материала на дно и откосы траншеи, техническая рекультивация плодородного слоя почвы.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022). 2. ГОСТ 12.2.061-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам. 3. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками).
2. Производственная безопасность при эксплуатации: – анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов.	Опасные факторы: – движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования; – электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов; – ударные волны воздушной среды и движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные

	объекты, наносящие удар по телу работающего. Вредные факторы: – аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего; – повышенный уровень общей и локальной вибрации; – повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума; – отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (загазованность). Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: спецодежда, подшлемники, непромокаемые плащи (в случае осадков), теплое нательное белье, рациональное размещение технологического оборудования, применение теплоизоляции, автоматизация и дистанционное управление процессами производства, перерывы на обогрев и отдых работников, регламентирование времени работы с виброоборудованием, специальные резиновые перчатки, наушники, средства звукоизоляции и звукопоглощения, светильники во взрывозащищенном исполнении, шланговые противогазы типа ПШ-1 или ПШ-2, индивидуальные сигнализаторы-газоанализаторы, каски, защитные очки и перчатки, спецобувь, предупреждающие и запрещающие знаки, ограждения из сигнальной ленты, предохранительные устройства, изоляция токопроводящих частей (проводов), установка оградительных устройств, предупредительная сигнализация и блокировка, применение малых напряжений, защитное заземление, зануление, защитное отключение, диэлектрические перчатки, инструменты с изолированными рукоятками, респираторы и аптечки.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Воздействие на литосферу: загрязнение почвы, изменение естественного рельефа местности и растепление мёрзлых грунтов при производстве работ по обустройству перехода трубопровода в соответствии с проектным решением. Воздействие на гидросферу: попадание загрязняющих веществ в сточные воды. Воздействие на атмосферу: выброс вредных веществ при разгерметизации трубопровода.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: метели, аномально низкие температуры в зимний период, взрывы, разгерметизация трубопровода при обустройстве перехода, морозные пучения, просадки грунтов. Наиболее типичная ЧС: разгерметизация трубопровода при обустройстве перехода.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.02.22
---	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович	—		25.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б8Б	Никулин Евгений Валерьевич		25.02.22

8 Социальная ответственность

Введение

Разработка технических решений и рекомендаций, способствующих повышению надежности промышленного трубопровода при его эксплуатации на территории многолетнемерзлых грунтов, должна осуществляться с учетом требований безопасности при производстве работ в соответствии с данным проектным решением. Ошибочно разработанные мероприятия по обустройству того или иного объекта нефтегазового сектора могут привести к авариям и инцидентам. Поэтому приоритетом каждого предприятия, занимающегося добычей, транспортом и хранением углеводородов, является обеспечение безопасности условий работы сотрудников.

В настоящем разделе рассматривается рабочая зона слесаря-монтажника, выполняющего работы согласно разработанным техническим решениям по обеспечению проектного положения промышленного трубопровода при его переходе через автомобильную дорогу на территории многолетнемерзлых грунтов.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Отношения между работником и работодателем регулируются Трудовым кодексом Российской Федерации (ТК). Так, согласно ст. 212 ТК [41] работодатель обязан создать безопасные условия труда исходя из комплексной оценки рабочего места и факторов производственной среды и трудового процесса, которые могут привести к нанесению вреда здоровью работников.

Продолжительность рабочего времени (ст. 91 ТК) не может превышать 40 часов в неделю и 36 часов (ст. 92 ТК) – при условиях труда, отнесенных к

вредным третьей или четвёртой степени или опасным. Ежегодный основной оплачиваемый отпуск предоставляется работникам продолжительностью 28 календарных дней (ст. 115 ТК).

Рабочий персонал, занятый на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, имеет право на дополнительный оплачиваемый отпуск не менее 7 календарных дней (ст. 117 ТК), а также на надбавку к заработной плате в минимальном размере 4% от оклада (ст. 147 ТК).

Дополнительно работники обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знания требований охраны труда, а также предварительные и периодические медицинские осмотры (ст. 215 ТК). Работодатель, в свою очередь, должен организовать вышеперечисленные мероприятия и обеспечивать рабочий персонал средствами индивидуальной защиты за свой счет (ст. 214 ТК).

8.1.2 Компоновка рабочей зоны

Согласно ГОСТ 12.2.061-81, рабочее место, его оборудование и оснащение, применяемые в соответствии с характером работы слесаря-монтажника, должны обеспечивать безопасность, охрану здоровья и работоспособность работающего.

При выполнении работ, связанных с воздействием на работающих опасных и (или) вредных производственных факторов, рабочее место при необходимости должно быть оснащено средствами защиты, средствами пожаротушения и спасательными средствами.

Взаимное расположение и компоновка рабочих мест должны обеспечивать безопасный доступ на рабочее место и возможность быстрой эвакуации при аварийной ситуации. Организация и состояние рабочих мест, а также расстояния между рабочими местами должны обеспечивать безопасное передвижение работающих и транспортных средств, удобные и безопасные действия с материалами, а также техническое обслуживание и ремонт производственного оборудования.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций по ГОСТ 12.1.005-88.

8.2 Производственная безопасность

Процесс обустройства перехода промышленного трубопровода в соответствии с принятым проектным решением сопровождается рядом опасных и вредных производственных факторов, список которых представлен в таблице 8.2.1.

Таблица 8.2.1 – Потенциальные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Источник фактора	Нормативные документы, регламентирующие действия факторов
<i>Вредные производственные факторы</i>		
Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего	Температура, скорость ветра, относительная влажность, давление	ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН 1.2.3685-21
Повышенный уровень общей и локальной вибрации	Машины, оборудование, механизированный инструмент	ГОСТ 24346-80, ГОСТ 26568-85

Продолжение таблицы 8.2.1

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Источник фактора	Нормативные документы, регламентирующие действия факторов
<i>Вредные производственные факторы</i>		
Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	Машины, оборудование, механизированный инструмент	ГОСТ 12.1.003-2014, СП 51.13330.2011
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	Ночное время суток	ГЭСН 81-02-01-2020
Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (загазованность)	Трубопровод, машины, оборудование	ГОСТ 12.1.005-88
<i>Опасные производственные факторы</i>		
Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования	Машины, оборудование, механизированный инструмент	ГОСТ 12.4.125-83

Продолжение таблицы 8.2.1

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Источник фактора	Нормативные документы, регламентирующие действия факторов
<i>Опасные производственные факторы</i>		
Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов	Нарушенная изоляция токопроводящих частей	ГОСТ Р 12.1.019-2009
Ударные волны воздушной среды и движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего	Электрические искры и дуги, газовые баллоны, трубопровод под давлением	ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.010-76

8.2.1 Анализ потенциальных вредных производственных факторов

8.2.1.1 Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего

Согласно ГОСТ 12.1.005-88, основными микроклиматическими параметрами, которые учитываются при работе на открытых площадках, являются температура, скорость ветра, относительная влажность и давление.

Длительное нахождение работника на открытом воздухе при высоких температурах вызывает перегрев организма и, как следствие, тепловой удар.

Высокая относительная влажность способствует затруднению охлаждения организма. Низкие температуры воздуха способны вызвать переохлаждение организма особенно в сочетании с высокой скоростью ветра.

Таким образом, при отклонении показателей микроклимата рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты: спецодежда из хлопчатобумажной ткани, льна или грубошерстного сукна, подшлемники, непромокаемые плащи (в случае осадков), теплое нательное белье.

В качестве средств коллективной защиты могут выступить: рациональное размещение технологического оборудования, применение теплоизоляции, автоматизация и дистанционное управление процессами производства, а также перерывы на обогрев и отдых работников.

8.2.1.2 Повышенный уровень общей и локальной вибрации

Повышенные уровни вибраций способны вызвать нарушение нормальной работы вестибулярного аппарата (головокружение, расстройство координации движений, симптомы укачивания), тактильного (снижение болевой чувствительности) и зрительного (сужение и периодическое исчезновение отдельных участков поля зрения, снижение остроты зрения).

Средствами индивидуальной и коллективной защиты от вибраций могут послужить: регламентирование времени работы с виброоборудованием, мероприятия по усовершенствованию техники, использование специальных резиновых перчаток (ГОСТ 26568-85).

8.2.1.3 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума

Длительное воздействие шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала, а также влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 допустимый уровень шума составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления свыше 135 дБА.

К коллективным средствам защиты от шума относится использование средств звукоизоляции и средств звукопоглощения. В качестве индивидуальных средств защиты, согласно СП 51.13330.2011, следует использовать наушники, надеваемые на ушную раковину.

8.2.1.4 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

При недостаточной освещенности и напряженной зрительной работе повышается утомляемость, возникают головные боли и ухудшается зрение.

Согласно ГЭСН 81-02-01-2020, рабочие места, проезды и проходы к ним должны быть освещены:

- не менее 10 люкс при выполнении земляных работ;
- не менее 100 люкс на рабочем месте при выполнении монтажных и изоляционных работ;
- не менее 2 люкс на проездах в пределах рабочей площадки;
- не менее 5 люкс в проходах к месту производства работ.

Освещенность должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных приспособлений на работающих. При выполнении газоопасных и огневых работ для освещения рабочих мест должны использоваться светильники во взрывозащищенном исполнении.

8.2.1.5 Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (загазованность)

Пары нефти относятся к веществам со слабо выраженным токсическим действием, поражают, главным образом, центральную нервную систему, вызывая наркотическое опьянение. Признаками отравления парами нефти являются: головокружение, сухость во рту, головная боль, тошнота, повышенное сердцебиение, общая слабость.

Наиболее опасными отравляющими свойствами обладают нефти, содержащие значительное количество сернистых соединений и, особенно, сероводород, оксиды серы и азота. Поэтому необходимо контролировать содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны, для чего

устанавливаются предельно допустимы концентрации (ПДК) таких веществ по ГОСТ 12.1.005-88 (таблица 8.2.1.5.1).

Таблица 8.2.1.5.1 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³
Пары нефти	300
Сероводород (H ₂ S)	10
Сернистый газ (SO ₂)	10
H ₂ S в смеси с углеводородами (от C ₁ до C ₅)	3

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны может превышать значение ПДК, работники должны быть обеспечены шланговыми противогазами типа ПШ-1 или ПШ-2. При выполнении газоопасных работ весь персонал должен снабжаться индивидуальными сигнализаторами-газоанализаторами. Дополнительно необходимо вести контроль загазованности воздуха рабочей зоны согласно временным интервалам, установленным в наряде-допуске. Уменьшение неблагоприятного воздействия загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны.

8.2.2 Анализ потенциальных опасных производственных факторов

8.2.2.1 *Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования*

Движущиеся части производственного оборудования представляют опасность травмирования рабочего в виде ушибов, порезов, переломов, которые могут привести к потере трудоспособности. Движущиеся части производственного оборудования должны быть ограждены или расположены таким образом, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работника или использованы другие средства, предотвращающие травмирование персонала.

В качестве средств индивидуальной защиты от движущихся частей и механизмов применяются каски, защитные очки и перчатки, спецодежда и спецобувь. Согласно ГОСТ 12.4.125-83, к коллективным средствам защиты от воздействия механических факторов относятся предупреждающие и запрещающие знаки, ограждения из сигнальной ленты, системы дистанционного управления оборудованием и сигнализации, предохранительные устройства.

8.2.2.2 Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов

Опасное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм (ожоги, металлизация кожи, механические повреждения), электрического удара и профессиональных заболеваний.

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

Индивидуальные средства защиты: диэлектрические перчатки, инструменты с изолированными рукоятками (по ГОСТ Р 12.1.019-2009).

8.2.2.3 Ударные волны воздушной среды и движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего

Указанные опасные факторы являются следствием пожара или взрыва. Результатами их негативного воздействия на организм человека являются ожоги различной степени тяжести, повреждения, а также возможен летальный исход. Следовательно, необходимо предпринимать меры, предупреждающие пожары и взрывы.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91, объекты нефтегазовых промыслов должны быть оборудованы системами пожарной безопасности, которые при опасности незамедлительно оповещают рабочий персонал. В случае работ на открытом

воздухе должны выставляться пожарный пост и находиться вблизи от места производства работ первичные средства пожаротушения. Все противопожарное оборудование должно быть в боевой готовности, все работники – ознакомлены с противопожарными инструкциями и планами эвакуаций. К средствам защиты при возникновении пожарных ситуаций относятся респираторы и аптечки, которые должны находиться в доступных для работников местах.

Для предотвращения возникновения источника инициирования взрыва, согласно ГОСТ 12.1.010-76, необходимо регламентировать огневые работы, предотвращать нагрев оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды, применять взрывозащищенное оборудование и др.

8.3 Экологическая безопасность

8.3.1 Защита литосферы

При выполнении работ по принятому проектному решению может оказываться негативное влияние на литосферу: разлив транспортируемого продукта при разгерметизации трубопровода и отходы производства работ. Во избежание этого необходимо соблюдать план производства работ и установленные требования в наряде-допуске. После окончания работ отходы должны быть подвергнуты селективному сбору, временному хранению на специально отведенных площадках и передаче на утилизацию специализированным организациям. Места временного хранения и накопления отходов должны соответствовать требованиям техники безопасности и санитарно-гигиеническим нормам.

В ходе обустройства перехода трубопровода через автомобильную дорогу не исключены: изменение морфологии участков земной поверхности, уничтожение растительности, эрозия, нарушение температурного режима многолетнемерзлых грунтов. Основными методами сохранения земельных ресурсов являются: исправление ландшафта, измененного во время работ; противоэрозионная и тепловая мелиорация почв; восстановление плодородного

слоя почвы. При возникновении экстренных случаев необходимо проводить рекультивацию затронутых производством земель в соответствии с ГОСТ 17.4.3.04-85.

8.3.2 Защита гидросферы

При выполнении работ согласно принятому проектному решению некоторые загрязняющие вещества (нефть, ГСМ, растворители) могут нанести вред гидросфере, попав в сточные воды. В основном, причинами указанных негативных последствий являются несоблюдение правил эксплуатации оборудования, износ уплотнений оборудования, аварии. Для защиты гидросферы следует исключить появление источников утечки вредных веществ при проведении работ, своевременно утилизировать отходы с дальнейшей их транспортировкой до мест переработки.

Согласно ГОСТ 17.1.3.13-86, необходимо придерживаться следующих природоохранных мероприятий:

- соблюдать места расположения техники и границ производственных площадок, находящихся от водоемов и водотоков на нормируемом расстоянии, с целью исключения попадания загрязнений в поверхностные воды;
- ёмкости с отработанными материалами должны временно храниться на специально отведенной площадке с обваловкой и герметичным бордюром, позволяющим предотвратить разлив отходов за пределы площадки;
- в случае возникновения нештатной ситуации места проливов зачищаются немедленно с помощью песка. Образующийся отход должен храниться в отдельном контейнере.

8.3.3 Защита атмосферы

В ходе эксплуатации возможны выбросы вредных веществ в атмосферу (сравливание газа из трубопровода и технологического оборудования, разгерметизация трубопровода), т.е. не исключено попадание легких

газообразных углеводородов (метан, этан, пропан, бутан) в окружающий воздух.

Во избежание загрязнений атмосферы необходимо строго соблюдать установленный порядок работ планом производства работ и нарядом-допуском, проводить предварительное обозначение опознавательными знаками трассы трубопровода, а также всех приварных элементов и задвижек и мест пересечения трубопровода с коммуникациями сторонних организаций в присутствии представителей данных организаций. Дополнительно необходимо осуществлять постоянный контроль на соответствие требованиям нормативов уровня выбросов в атмосферу оксидов азота и окиси углерода.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) при производстве работ согласно проектному решению можно разделить на:

- 1) ЧС природного характера: метели, аномально низкие температуры в зимний период, морозные пучения, просадки грунтов;
- 2) ЧС техногенного характера: взрывы, разгерметизация трубопровода при обустройстве перехода.

Наиболее типичная ЧС – разгерметизация трубопровода при обустройстве перехода. Для предотвращения возникновения ЧС необходимо соблюдать порядок производства работ, указанный в плане производства работ, а также меры безопасности, установленные нарядом-допуском на соответствующий вид работ.

В случае разгерметизации трубопровода работнику необходимо сообщить диспетчеру точное место аварии и характер разлива транспортируемого продукта. Далее ликвидация последствий ЧС осуществляется в следующем порядке:

1. Локализация разлива. В случае разлива флюида на грунте используют насыпи, перехватывающие траншеи, подпорные стенки, а также заграждения из

сорбирующих материалов; при разливах на водной поверхности используют ограждения, диспергенты и сорбенты; разливы в зимних условиях локализуются с помощью заграждений, дамб и снежных преград.

2. Ликвидация разлива. Ликвидация разлива осуществляется путем сбора флюида с помощью нефтесборных машин, судов-нефтесборщиков, ручным и механизированным способами, применением сорбентов. Для каждого случая разрабатывается план ликвидации аварийного разлива, в котором указываются основные решения по организации работ.

Вывод по разделу

В данном разделе проведен анализ потенциальных вредных и опасных факторов при транспортировке флюида по промысловому трубопроводу, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, вопросы по обеспечению экологической безопасности и безопасности в ЧС.

Необходимо отметить, что соблюдение требований и правил производственной и экологической безопасности является неотъемлемой частью процесса любого производства. Обеспечение охраны окружающей среды позволит предотвратить большинство проблем экологического и экономического характера, минимизировать отрицательное влияние человека на флору и фауну. Немаловажным является ответственное отношение работников к охране труда, что способно снизить число несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций.

Заключение

Нефтегазовая отрасль при освоении Арктической зоны и Дальнего Востока РФ сталкивается и будет сталкиваться со сложными инженерно-геологическими условиями ввиду распространения на указанных регионах многолетнемерзлых грунтов, протекания геокриологических процессов, наличия суровых климатических условий, сложного рельефа местности и т.д. Следовательно, важной задачей обеспечения безопасной и продолжительной эксплуатации нефтегазовых объектов является принятие соответствующих нормативной документации и подкрепленных необходимыми расчетами проектных решений. И одно из условий бесперебойной работы сооружений – стабильность их проектного положения.

Существует множество решений, направленных на предотвращение отклонений пространственного положения сооружений от установленной нормы: при анализе технической и научной литературы было выявлено как минимум 21 их них. Что касается объекта настоящей работы (переход промыслового трубопровода через автомобильную дорогу), то здесь приведена оценка принятых мероприятий по обеспечению проектного положения трубопровода: каждое из них реализуемо и эффективно, однако основная проблемы выбора заключается в обосновании его экономическим расчетом.

Также была предложена предварительная компоновка проектных решений по устранению имеющийся проблемы рассматриваемого участка после проведения моделирования тепловых воздействий со стороны трубопроводов на вмещающее их основание:

1. Монтаж теплоизоляционного экрана (толщиной 100 мм) на дно и откосы траншеи в месте залегания ТП вне футляра.
2. То же, что и в первом пункте, но дополнительно: закачка криогеля в места установки подземных свай на глубину от 2 м от низа ростверка с учетом дальнейшего растепления грунта для его гидрофобизации и упрочнения с целью снижения вероятных касательных сил морозного пучения.

3. Установка СОУ ТК32/6.М5-03 по первой схеме. Однако возможна реализация и второго способа расстановки термостабилизаторов ввиду большей эффективности.

4. То же, что и в третьем пункте, но дополнительно: закачка криогеля с целью, обозначенной во втором пункте.

Результаты технико-экономического обоснования подтвердили реализацию проектного решения, заключающегося в установке СОУ по второй схеме их компоновки. Данный выбор обусловлен наименьшей относительной себестоимостью (12092 руб.), а также наибольшей эффективностью (глубина оттаивания составляет ноль метров).

Дополнительно в ходе выполнения настоящей работы при анализе стандартов и рассматриваемого перехода было выявлено несоответствие толщины стенки, равной 8 мм, защитного футляра нормативным значениям. По результатам выполнения расчетов на прочность толщина стенки кожуха должна составлять минимум 15 мм.

По итогам верификации и валидации численного решения, полученного во Frost 3D, для рассматриваемого перехода промышленного трубопровода через автомобильную дорогу было определено, что погрешность расчетов глубины естественного оттаивания многолетнемерзлого грунта в программном комплексе относительно фактического замера составляет 13,2%. Отклонение результатов численного моделирования от действительного значения глубины оттаивания, вероятно, связано с недостаточно точной оценкой теплофизических свойств грунта.

Также расчеты по СП 25.13330.2020 целесообразно выполнять с учетом натурным данных, иначе можно наблюдать пессимистическую или оптимистическую картины развития прогнозируемых событий, что приведет к чрезмерным пилотным капиталовложениям либо к увеличению эксплуатационных расходов соответственно.

Список публикаций студента

1. Никулин Е.В. и др. Применение криогелей при прокладке магистральных трубопроводов в мерзлых грунтах // Ашировские чтения: сб. трудов Всероссийск. Науч.-практ. Конференции. – Самара: Самар. Гос. Техн. Ун-т, 2021. – С. 408-411.

2. Никулин Е.В. Применение криогелей для повышения несущей способности грунтов при сооружении магистральных трубопроводов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5-9 апреля 2021 г. Т. 2. – Томск, 2021. – 2021. – Т. 2. – С. 419-421.

3. Никулин Е.В. Применение криогелей для повышения несущей способности грунтов при сооружении магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы науки и техники – 2021: сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Уфа, 15 марта – 19 марта 2021 г.): в 2 т./под общ. ред. канд. техн. наук Рабаева Р.У.. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2021. – С. 173-175.

4. Никулин Е.В., Бурков П.В. Применение криогелей для повышения несущей способности грунтов при сооружении магистральных трубопроводов // Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа: сборник трудов IX международной научно- практической конференции (27 сентября – 1 октября 2021 г.). – Томск: Институт химии нефти СО РАН, 2021. – С. 28.

5. Никулин Е.В., Бурков П.В. Применение криогелей для повышения несущей способности грунтов при сооружении магистральных трубопроводов // Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа – XXI век: Материалы Всерос. науч. конф. с участием иностранных ученых, посв. 150-летию акад. АН СССР И. М. Губкина и 110-летию акад. АН СССР и РАН А. А. Трофимука. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2021. – С. 205-208.

Список использованных источников

1. Беленький М.Е. и др. Терминологический словарь по строительству на 12 языках // М.: «Русский язык». – 1986.
2. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года» от 28 декабря 2009 № 2094-р // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – 2009.
3. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Национальной программы социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года» от 24 сентября 2020 № 2464-р // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – 2020.
4. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» от 26 октября 2020 № 645 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – 2020.
5. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» от 9 июня 2020 № 1523-р // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – 2020.
6. Осадчая Г.Г., Шполянская Н.А. Географические особенности изменчивости геокриологических характеристик большеземельской тундры // Международный научно-исследовательский журнал, часть 1. – 2021. – №2 (104). – С. 124-131.
7. Ершов Э.Д. Общая геокриология. – М.: Издательство МГУ, 2002. – 682 с.
8. Галиев И.М. Исследование теплоустойчивости вечной мерзлоты вблизи заглубленного нефтепровода // Инновации и инвестиции. – 2021. – №9. – С. 134-138.

9. Болуров Т.Х. Особенности проектирования и строительства трубопроводов в многолетнемерзлых грунтах // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 754-759.

10. Филимонов А.А. и др. Проектирование промышленных подземных трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах с использованием современных комплексов проектирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – Т. 23. – №. 4. – С. 127-137.

11. Гаррис Н.А., Полетаева О. Ю., Бакиев Т. А. Проблемы трубопроводного транспорта углеводородов в условиях мерзлоты и пути их решения // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – №. 3.

12. Скворцов Д.С. и др. Способы борьбы с морозным пучением сезоннопромерзающих грунтов в основаниях фундаментов зданий и сооружений // Вестник евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – №. 5.

13. Тимофеева Л.А. Исследование влияния талых вод на проектное пространственное положение трубопровода в процессе эксплуатации: магистерская диссертация / Л.А. Тимофеева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД); науч. рук. П.В. Бурков. – Томск, 2020.

14. Файзиева К.А. Влияние геокриологических процессов на эксплуатацию линейных надземных сооружений на примере магистрального газопровода «Мессояха-Норильск» // Научная и производственная деятельность-средство формирования среды обитания человечества. – 2016. – С. 268-272.

15. Леонов Д.А. Исследование работы нефтепроводов, проложенных на участках многолетнемерзлых грунтов: магистерская диссертация / Д.А. Леонов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет

(ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД); науч. рук. А.Л. Саруев. – Томск, 2018.

16. Шиколов, Александр Евгеньевич. Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта [Электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа бакалавра: 23.03.03 / А. Е. Шиколов. – Красноярск: СФУ, 2021.

17. Амичба В.Д. Методы по упрочнению свойств оснований трубопроводов // Вестник магистратуры. – 2021. – №. 1-5. – С. 9.

18. Патент N 2703839 Российская Федерация, МПК F16L 59/00 (2006.01), E04B 1/76 (2006.01). Теплоизоляционный экран: N 2018138531: заявл. 31.10.2018: опубликовано 22.10.2019 / Кузьбожев А.С., Шишкин И.В., Бирилло И.Н., Шкулов С.А., Маянц Ю.А., Елфимов А.В.; патентообладатель Публичное акционерное общество «Газпром». – 12 с.: ил. – Текст: непосредственный.

19. Стручаев Н.И. и др. Пути повышения эффективности теплоизоляции трубопроводов // Проблемы региональной энергетики. – 2020. – №. 2 (46).

20. Онищенко А.О., Долганов В.А., Томарева И.А. Современные технологические решения строительства нефтепроводов в сейсмически опасных районах // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса. – 2020. – С. 121-131.

21. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. Учебное пособие. – М.: «Высшая школа», 1973. – 448 с.

22. Тарасов В.А., Султанмагомедов Т.С., Султанмагомедов С.М. Изучение проблемы потери устойчивости поперечного сечения магистральных газопроводов в защитных футлярах под автомобильными и железными дорогами в результате увеличения объема замерзающей воды в межтрубном пространстве // 2021. – №18

23. Подробное описание Frost 3D // Frost 3D [Электронный ресурс] URL: <https://frost3d.ru/> (дата обращения: 30.12.2021).

24. Поскониная Е.А., Курчатова А.Н. Оптимизация решений по термостабилизации грунтов оснований // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – №. 2. – С. 49-59.

25. Alekseev A., Gribovskii G., Vinogradova S. Comparison of analytical solution of the semi-infinite problem of soil freezing with numerical solutions in various simulation software // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – Т. 365. – №. 4. – С. 042059.

26. Паздерин Д.С. и др. Корректность определения глубины сезонного оттаивания грунтов в условиях криолитозоны // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2019. – №. 3. – С. 41-44.

27. ВЕРИФИКАЦИЯ FROST 3D // FROST 3D URL: <https://frost3d.ru/verifikatsiya-programmy/> (дата обращения: 10.03.2022).

28. Гишкелюк И.А., Станиловская Ю.В. Компьютерное 3D моделирование ореола оттаивания грунтов с повторно-жильными льдами вокруг нефтепровода // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2013. – №. 6. – С. 18-24.

29. Гишкелюк И.А., Станиловская Ю.В., Евланов Д. В. Прогнозирование оттаивания многолетнемерзлых грунтов вокруг подземного трубопровода большой протяженности // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – Т. 1. – №. 17. – С. 20.

30. Манжай В.Н., Фуфаева М.С. Свойства криогелей и их применение в технологиях добычи и транспорта нефти // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2011. – №. 6. – С. 103-108.

31. Алтунина Л.К. и др. Организационно-технические мероприятия по использованию криогелей для повышения несущей способности грунтов при строительстве и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – Т. 9. – №. 2. – С. 164-173.

32. Алтунина Л.К. и др. Применение криогелей для решения задач рационального природопользования и эксплуатации объектов магистральных

трубопроводов в условиях Арктики // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10. – №. 2. – С. 173-185.

33. Фуфаева М.С. и др. Криогели на основе поливинилового спирта и нефтеполимерных смол с гидрофобными свойствами // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2019. – Т. 12. – №. 2.

34. Кохановская О.А. и др. Композитные криогели – новые конструкционные материалы для освоения Арктики // Новые материалы и технологии в условиях Арктики. – 2014. – С. 322-327.

35. Алтунина Л.К. и др. Применение криогелей при сооружении объектов нефтегазового сектора // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2021. – №12 (120). – С. 88-91.

36. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Фуфаева М.С. Криогели – перспективный материал для строительной индустрии и решения экологических проблем // Тезисы докладов Международных конференций «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» и «Химия нефти и газа» в рамках Международного симпозиума «Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций». – 2018. – С. 15-16.

37. Коновалова О.С., Попова О.В. К Вопросу о повышении несущей способности грунтов, предотвращении и остановке эрозионных процессов использованием при строительстве объектов нефтегазового комплекса криогелей // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2018. – №. 1. – С. 150-153.

38. Индивидуальный СОУ термостабилизатор // ООО НПО «Фундаментстройаркос» [Электронный ресурс] URL: <https://www.npo-fsa.ru/> (дата обращения: 3.01.2022).

39. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов: Учеб. Пособие. – Санкт-Петербург: Недра, 2005. – 824 с.

40. КАМАЗ 6580 / КАМАЗ 65802 // Техавтоцентр Камаз Красноярск [Электронный ресурс] URL: <https://kamaz124.ru/kamaz-catalog/model/41/> (дата обращения: 2.01.2022).

41. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).

42. Налоговый кодекс Российской Федерации (НК РФ).

43. Федеральный закон «О страховых тарифах на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов» от 22.12.2020 N 434-ФЗ (последняя редакция).

44. Основные средства // Википедия [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Основные_средства#:~:text=Основные%20средства%20—%20это%20средства,иметь%20срок%20использования%20более%20года (дата обращения: 21.04.2022).

Приложение А
(справочное)

Описание объекта компании N

В данном приложении приведены конструктивные, механические и физические характеристики нефтегазопровода, изоляции, защитного футляра и СОУ, а также данные по физико-химическим свойствам грунтов, литологическому строению и климатическим условиям местности.

Таблица А.1 – Нефтегазопровод *DN 500*

Характеристика	Значение
Труба стальная электросварная прямошовная повышенной эксплуатационной надежности	
Марка стали	13ХФА
Диаметр, мм	530
Толщина стенки трубы, мм	9
Класс прочности	K52
Заводское изоляционное покрытие, мм	0,35
Минимальная ударная вязкость КСУ-60°С, Дж/см ² , не менее	39,2
Давление перекачиваемой среды, кгс/см ²	21
Температура перекачиваемой среды, °С	40

Таблица А.2 – Изоляция

Характеристика	Значение
Материал изоляции	Пенополиуретан
Толщина изоляции, мм	100
Плотность, кг/м ³ , не менее	60

Продолжение таблицы А.2

Характеристика	Значение
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,0465
Покрывной слой	Сталь оцинкованная
Толщина слоя, мм	0,8

Таблица А.3 – Защитный футляр для трубы DN 500

Характеристика	Значение
Труба стальная электросварная прямошовная повышенной эксплуатационной надежности	
Марка стали	09Г2С
Диаметр, мм	1020
Толщина стенки трубы, мм	8
Длина футляра, м	20
Класс прочности	K52
Заводское трехслойное полиэтиленовое покрытие, мм	3,5
Минимальная ударная вязкость KCU-60°C, Дж/см ² , не менее	39,2

Таблица А.4 – Физико-химические свойства грунтов

Параметр	Грунт		
	Суглинок пластичномерзлый	Суглинок твердомёрзлый	Песок (насыпь дороги)
Объемная теплоемкость талого грунта, МДж/(м ³ ·°C)	2,90	3,17	2,39
Объемная теплоемкость мёрзлого грунта, МДж/(м ³ ·°C)	2,29	2,41	2,08

Продолжение таблицы А.4

Параметр	Грунт		
	Суглинок пластичномерзлый	Суглинок твердомёрзлый	Песок (насыпь дороги)
Теплопроводность талого грунта, Вт/(м·К)	1,37	1,48	2,15
Теплопроводность мёрзлого грунта, Вт/(м·К)	1,62	1,70	2,50
Суммарная весовая влажность грунта, д.е.	0,25	0,29	0,21
Плотность сухого грунта, кг/м ³	1450	1450	1630
Температура фазового перехода, °С	минус 0,2	минус 0,2	минус 0,1
Коэффициент фильтрации, мкм/с	50	50	100
Средняя мощность грунтов, м	3,00	12,00	0,44

Таблица А.5 – Распределение температур по глубине

Глубина*, м	Температура, °С	Грунт
48	—	Суглинок пластичномерзлый
47	минус 0,4	
46	минус 0,6	
45	минус 0,8	
44	минус 1,0	Суглинок твердомерзлый
43	минус 1,1	
42	минус 1,0	
41	минус 1,2	

Продолжение таблицы А.5

Глубина*, м	Температура, °С	Грунт
40	минус 1,4	Суглинок твердомерзлый
39	минус 1,5	
38	минус 1,6	
37	минус 1,7	
36	минус 1,7	
35	минус 1,7	
34	минус 1,7	
33	минус 1,7	

* – 48 м – это условная поверхность земли, расположенная в начале перехода, от которой идет отсчет.

Таблица А.6 – Климатические условия

Месяц	Параметр		
	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Снежный покров, мм
январь	минус 31,1	5,5	500
февраль	минус 24,1	5,6	600
март	минус 15,8	6,2	450
апрель	минус 6,8	5,6	300
май	минус 1,9	5,4	160
июнь	плюс 11,4	4,9	0
июль	плюс 15,5	4,6	0
август	плюс 9,3	4,4	0
сентябрь	плюс 4,6	4,6	0
октябрь	минус 9,0	4,7	180
ноябрь	минус 22,3	5,1	350
декабрь	минус 21,4	5,8	370

Таблица А.7 – Параметры СОУ ТК32/6.М5-03

Параметр	Значение
Общая длина, м	6
Длина надземной части, м	2
Площадь конденсаторной части, м ²	1,61
Площадь испарительной части, м ²	0,21
Разность температур, °С	2
Тепловое сопротивление термостабилизатора, м ² ·К/Вт	0,02
Диаметр трубы испарителя, мм	33,7
Форма ребра	Круглое
Минимальный выступ ребра, мм	15,25
Толщина ребра, мм	0,5
Шаг между центрами ребер, мм	2,5
Коэффициент теплопроводности ребра, Вт/(м ² ·К)	203,5

Приложение В

(справочное)

Порядок прочностного расчета защитного футляра

В.1 Исходные данные

Необходимые данные для расчета приведены в таблице В.1.1.

Таблица В.1.1 – Исходные данные для расчетов

Параметр	Значение	Примечание
Коэффициент надежности по нагрузке от веса грунта $n_{гр}$	1,2	СП 284.1325800.2016
Глубина заложения футляра H , м	1,8	Подраздел 2.2
Диаметр футляра $D_{ф}$, м	1,02	Таблица А.3 приложения А
Плотность сухого грунта ρ , кг/м ³	1630	Таблица А.4 приложения А
Суммарная весовая влажность грунта W , д.е.	0,21	
Коэффициент крепости песка $f_{кр}$	0,5	[39]
Угол внутреннего трения для песка φ , град.	30	
Коэффициент постели* грунта при сжатии k , Н/м ³	$15 \cdot 10^6$	
Модуль упругости полотна дороги $E_{п}$, Па	10^{10}	
Коэффициент Пуассона материала полотна дороги $\mu_{п}$	0,15	
Толщина покрытия дороги $h_{п}$, м	0,12	
Коэффициент надежности по нагрузке от подвижного транспорта при одновременном движении нескольких автомобилей $n_{п}$	1,4	

Продолжение таблицы В.1.1

Параметр	Значение	Примечание
Коэффициент, учитывающий всестороннее сжатие футляра, c	0,25	[39]
Расстояние от передней оси автомобиля до ближайшей его задней оси l_n , м	3,81	[39]
Расстояние между задними осями автомобиля l_3 , м	1,44	
Нагрузка от передней оси автомобиля на дорожное полотно P_1 , Н	62000	
Нагрузка от каждой задней оси (2 шт.) автомобиля на дорожное полотно P_2 и P_3 , Н	93500	
Сопротивление материала футляра по пределу текучести R , Па	$343 \cdot 10^6$	ГОСТ 10705-80

* – при выполнении расчетов фундаментов допускается применение методики коэффициентов жесткости с одним (вертикальным) коэффициентом постели (по СП 22.13330.2016).

В.2 Нагрузка на футляр от грунта

На футляр действуют внешние нагрузки: вертикальное $q_{гр.в.}$ и боковое $q_{гр.б.}$ давления грунта и давление от подвижного транспорта q_n (рисунок В.2.1).

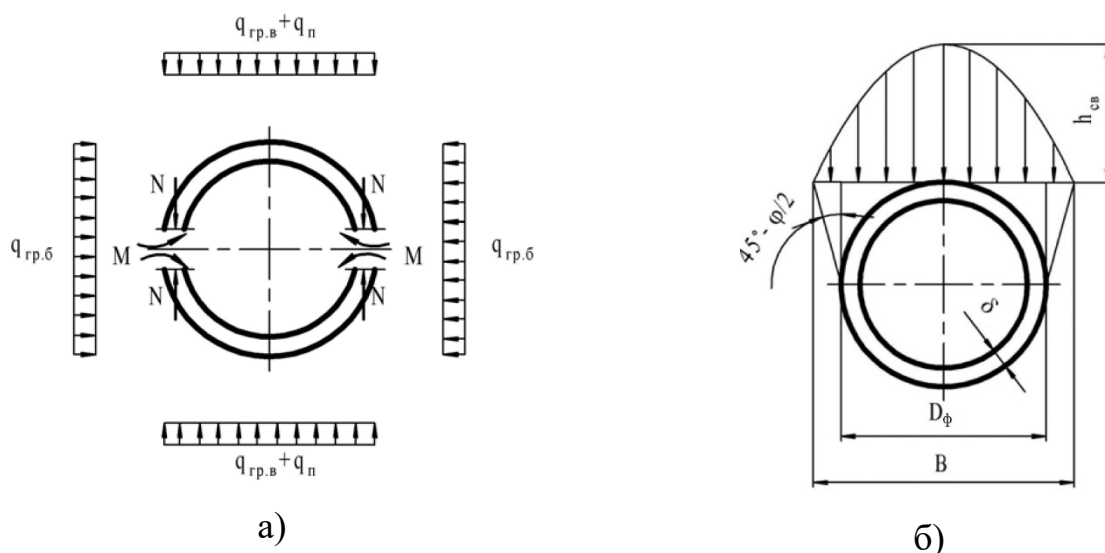


Рисунок В.2.1 – Схема к расчету футляра на прочность:

- а) нагрузка, действующая на футляр, где N – расчетное поперечное сжимающее усилие, M – расчетный изгибающий момент;
- б) свод естественного обрушения, где δ – толщина стенки кожуха

В первую очередь необходимо вычислить параметры свода обрушения: высоту $h_{св}$ и ширину B , – для определения выполнения условия формирования свода (формула (В.2.1)).

$$h_{св} < H, \quad (B.2.1)$$

$$h_{св} = \frac{B}{2f_{кр}}, \text{ м}, \quad (B.2.2)$$

$$B = D_{\phi} \left[1 + tg \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right], \text{ м}, \quad (B.2.3)$$

$$B = 1,02 \left[1 + tg \left(45 - \frac{30}{2} \right) \right] = 1,61 \text{ м},$$

$$h_{св} = \frac{1,61}{2 \cdot 0,5} = 1,61 \text{ м},$$

$$h_{св} = 1,61 < H = 1,8,$$

следовательно, условие (В.2.1) выполняется и можно переходить к вычислениям $q_{гр.в.}$ и $q_{гр.б.}$

$$q_{гр.в.} = n_{гр} \gamma_{гр} h_{св}, \text{ Па}, \quad (B.2.4)$$

$$\gamma_{гр} = \rho g (1 + W), \text{ Н/м}^3, \quad (B.2.5)$$

$$q_{\text{гр.б.}} = n_{\text{гр}} \gamma_{\text{гр}} \left(h_{\text{св}} + \frac{D_{\Phi}}{2} \right) t g^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ Па}, \quad (\text{В.2.6})$$

$$\gamma_{\text{гр}} = 1630 \cdot 9,8 \cdot (1 + 0,21) = 19329 \text{ Н/м}^3,$$

$$q_{\text{гр.в.}} = 1,2 \cdot 19329 \cdot 1,61 = 37317 \text{ Па},$$

$$q_{\text{гр.б.}} = 1,2 \cdot 19329 \left(1,61 + \frac{1,02}{2} \right) t g^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = 16382 \text{ Па},$$

где $\gamma_{\text{гр}}$ – удельный вес грунта в естественном состоянии;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

В.3 Расчет реакции основания полотна дороги

Далее необходимо вычислить реакцию основания полотна дороги для последующего определения напряжений в грунте. Известно, что на рассматриваемом участке по дороге передвигается транспорт массой более 3,5 т (от машин типа «УАЗ» до экскаваторов). Поэтому было принято в качестве средней нагрузки на дорожное полотно давление, создаваемое снаряженным автомобилем типа КАМАЗ-6580-S5 [40].

Реакция основания $\varphi_i(x)$, приходящаяся на единицу ширины полотна дороги, определяется по формуле:

$$\varphi_i(x) = \frac{P_i \alpha_{\text{ж}}}{2b} \eta, \text{ Па}, \quad (\text{В.3.1})$$

$$\alpha_{\text{ж}} = \sqrt[4]{\frac{kb}{4D_{\text{п}}}}, \text{ 1/м}, \quad (\text{В.3.2})$$

$$D_{\text{п}} = \frac{E_{\text{п}} I_{\text{п}}}{1 - \mu_{\text{п}}^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}^2, \quad (\text{В.3.3})$$

$$I_{\text{п}} = \frac{b \cdot h_{\text{п}}^3}{12}, \text{ м}^4, \quad (\text{В.3.4})$$

где $x, \text{ м}$ – текущая координата с нулевой точкой в центре приложения силы P_i ;

P_i – нагрузка, передаваемая через каждую ось автомобиля ($i = 1, 2, 3$, см. таблицу В.1.1);

$\alpha_{\text{ж}}$ – коэффициент жесткости полотна;

η – параметр, являющийся функцией произведения $\alpha_{\text{ж}} \cdot x$: подбирается по рисунку В.3.1;

$b = 1 \text{ м}$ – единичная ширина полотна дороги;

D_{Π} – цилиндрическая жесткость полотна дороги;

I_{Π} – момент инерции материала полотна дороги.

$$I_{\Pi} = \frac{1 \cdot 0,12^3}{12} = 0,000144 \text{ м}^4,$$

$$D_{\Pi} = \frac{10^{10} \cdot 0,000144}{1 - 0,15^2} = 1473146 \text{ Н} \cdot \text{м}^2,$$

$$\alpha_{\text{ж}} = \sqrt[4]{\frac{15 \cdot 10^6 \cdot 1}{4 \cdot 1473146}} = 1,26 \text{ 1/м}.$$

$\alpha_{\text{ж}} x$	η	$\alpha_{\text{ж}} x$	η
0,0	1,0000	1,3	0,3355
0,1	0,9907	1,4	0,2849
0,2	0,9651	1,5	0,2384
0,3	0,9267	1,6	0,1959
0,4	0,8784	1,7	0,1576
0,5	0,8231	1,8	0,1234
0,6	0,7628	1,9	0,0932
0,7	0,6997	2,0	0,0667
0,8	0,6354	2,1	0,0439
0,9	0,5712	2,2	0,0244
1,0	0,5083	2,3	0,0080
1,1	0,4476	2,355	0,0000
1,2	0,3899	-	-

Рисунок В.3.1 – Подбор η

Исходя из рисунка В.3.1, максимальным значение реакции $\varphi_i(x)$ будет при $x = 0$. Тогда:

$$\varphi_1(0) = \frac{P_1 \alpha_{\text{ж}}}{2b} \eta = 62000 \cdot \frac{1,26}{2 \cdot 1} \cdot 1 = 39157 \text{ Па},$$

$$\varphi_2(0) = \frac{P_2 \alpha_{\text{ж}}}{2b} \eta = 93500 \cdot \frac{1,26}{2 \cdot 1} \cdot 1 = 59051 \text{ Па},$$

$$\varphi_3(0) = \frac{P_3 \alpha_{\text{ж}}}{2b} \eta = 93500 \cdot \frac{1,26}{2 \cdot 1} \cdot 1 = 59051 \text{ Па}.$$

Минимальному значению функции $\varphi_i(x)$ соответствует x , определяемое из выражения:

$$x = a' = \frac{3\pi}{4\alpha_{\text{ж}}}, \text{ м}, \quad (\text{В.3.5})$$

$$a' = \frac{3\pi}{4 \cdot 1,26} = 1,86 \text{ м}.$$

Зная a' , вычислим ширину $2a$ зоны распространения суммарной эпюры реакции основания от сил P_2 и P_3 :

$$2a = 2a' + l_3, \text{ м}, \quad (\text{В.3.6})$$

$$2a = 2 \cdot 1,86 + 1,44 = 5,16 \text{ м},$$

следовательно, половина этой зоны составит $a = 2,58 \text{ м}$.

Вычислим значения, варьируя x , для каждой из реакций, опираясь на рисунок В.3.1 (таблица В.3.1).

Таблица В.3.1 – Значения для каждого $\varphi_i(x)$

$x, \text{ м}$	$\alpha_{ж} \cdot x$	η	$\varphi_1(x), \text{ Па}$	$\varphi_2(x), \text{ Па}$	$\varphi_3(x), \text{ Па}$
0,00	0,0	1,0000	39157	59051	59051
0,08	0,1	0,9907	38793	58502	58502
0,16	0,2	0,9651	37790	56990	56990
0,24	0,3	0,9267	36287	54723	54723
0,32	0,4	0,8784	34395	51870	51870
0,40	0,5	0,8231	32230	48605	48605
0,48	0,6	0,7628	29869	45044	45044
0,55	0,7	0,6997	27398	41318	41318
0,63	0,8	0,6354	24880	37521	37521
0,71	0,9	0,5712	22366	33730	33730
0,79	1,0	0,5083	19903	30016	30016
1,11	1,4	0,2849	11156	16824	16824
1,43	1,8	0,1234	4832	7287	7287
1,82	2,3	0,0080	313	472	472
1,87	2,4	0,0000	0	0	0

Построим эпюры, исходя из таблицы В.3.1. Однако отметим, что на рисунке В.3.2 ось абсцисс является общей для всех реакций. Также каждая из эпюр симметрична относительно соответствующей ей оси автомобиля.

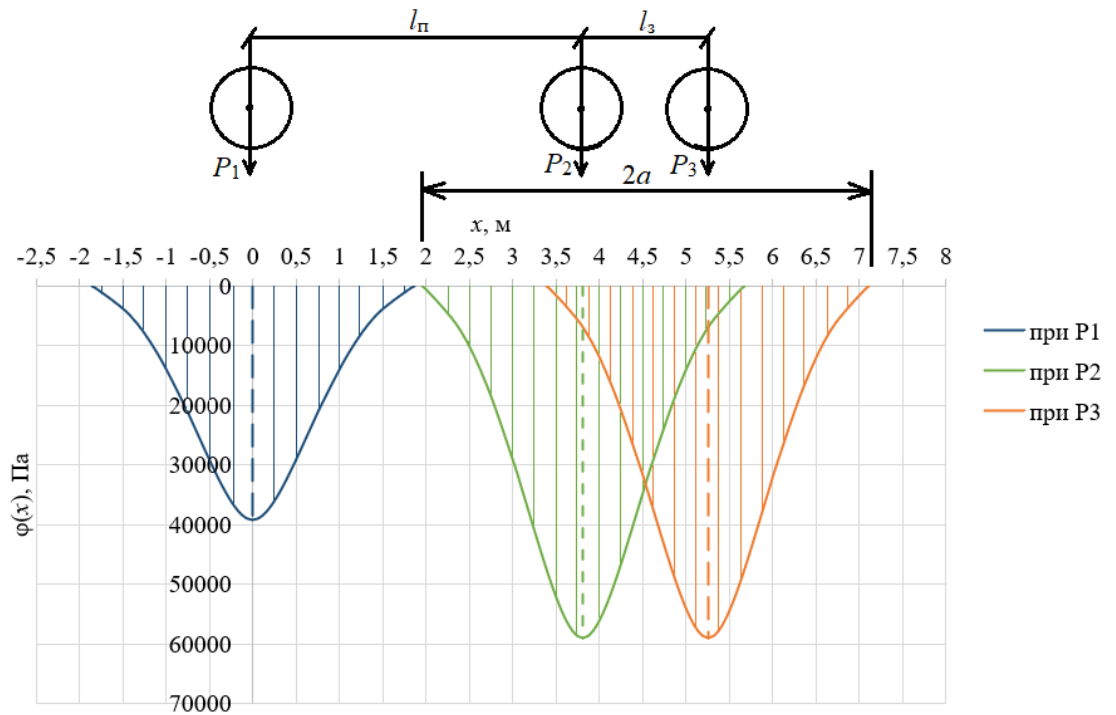


Рисунок В.3.2 – Эпюры реакций дорожного полотна

В.4 Расчет напряжений в грунте и давления от подвижного транспорта

Напряжения в грунте σ_z в любой точке с координатами x , z , действующие вертикально вниз, можно определить, используя формулу:

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\arctg \left(\frac{a-x}{z} \right) + \arctg \left(\frac{a+x}{z} \right) \right] - \frac{2a \cdot q \cdot z (x^2 - z^2 - a^2)}{\pi [(x^2 + z^2 - a^2)^2 + 4a^2 z^2]}, \text{ Па}, \quad (\text{В.4.1})$$

где q , Па – максимальное значение из $\varphi_i(0)$, т.е. в нашем случае – это $\varphi_2(0) = \varphi_3(0) = 59051$ Па;

z , м – вертикальная координата, отсчитываемая от поверхности дорожного полотна.

Для координаты z , равной глубине заложения футляра до верхней образующей H , напряжения σ_z будут максимальными при $x = 0$:

$$\sigma_z = \frac{59051}{\pi} \left[\arctg \left(\frac{2,58-0}{1,8} \right) + \arctg \left(\frac{2,58+0}{1,8} \right) \right] - \frac{5,16 \cdot 59051 \cdot 1,8 \cdot (0^2 - 1,8^2 - 2,58^2)}{\pi [(0^2 + 1,8^2 - 2,58^2)^2 + 4 \cdot 2,58^2 \cdot 1,8^2]} = 53816 \text{ Па}.$$

Далее вычислим ранее упомянутый показатель q_{π} :

$$q_{\pi} = n_{\pi} \sigma_z, \text{ Па}, \quad (\text{В.4.2})$$

$$q_{\pi} = 1,4 \cdot 53816 = 75342 \text{ Па}.$$

Коэффициент $n_{\text{п}}$ принят равным 1,4 для случая, соответствующего наибольшей нагрузке, оказываемой со стороны нескольких автомобилей на полотно дороги.

В.5 Определение толщины стенки футляра

Толщина стенки кожуха δ определяется из условия прочности:

$$\delta = -\frac{N}{2R} + \sqrt{\left(\frac{N}{2R}\right)^2 + \frac{6M}{R}}, \text{ м}, \quad (\text{В.5.1})$$

$$N = -\frac{D_{\Phi}}{2} (q_{\text{гр.в.}} + q_{\text{п}}), \text{ Н/м}, \quad (\text{В.5.2})$$

$$M = c \left(\frac{D_{\Phi}}{2}\right)^2 (q_{\text{гр.в.}} + q_{\text{п}} - q_{\text{гр.б.}}), \text{ Н·м/м}, \quad (\text{В.5.3})$$

где N – расчетное поперечное сжимающее усилие в наиболее напряженном сечении футляра, отнесенное к единице длины футляра;

M – расчетный изгибающий момент в наиболее напряженном сечении футляра, отнесенный к единице его длины.

$$M = 0,25 \left(\frac{1,02}{2}\right)^2 (37317 + 75342 - 16382) = 6260 \text{ Н·м/м},$$

$$N = -\frac{1,02}{2} (37317 + 75342) = -57456 \text{ Н/м},$$

$$\delta = -\frac{-57456}{2 \cdot 343 \cdot 10^6} + \sqrt{\left(\frac{-57456}{2 \cdot 343 \cdot 10^6}\right)^2 + \frac{6 \cdot 6260}{343 \cdot 10^6}} = 0,01055 \text{ м} \approx 11 \text{ мм}.$$

Приложение Д

(справочное)

Сметы по статьям калькуляции

В настоящем приложении представлены сметные таблицы для каждого проектного решения.

Таблица Д.1 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Стоимость за ед., руб.	Стоимость за количество, руб.
СОУ 1 вариант, шт.	18	12798,54	230373,72
СОУ 2 вариант, шт.	36	12798,54	460747,44
Криогель, кг	540	200,00	107928,20
Изоляционные материалы, м ²	310	830,00	257632,00

Таблица Д.2 – ОФ и амортизация

Проектное решение	Наименование	Количество х	Балансовая стоимость Бс, руб.	Годовая норма амортизации На, %	Среднее количество циклов работ за год Тэкс	Сумма амортизации за цикл работ А, руб.	Итого, руб.
СОУ 1	Бурильная установка на прицепе	2	650000	20	183	1420,77	13087,30
	Автомобиль Урал «Вахтовка»	1	3033300	20	52	11666,54	
СОУ 2	Бурильная установка на прицепе	4	650000	20	183	2841,53	14508,07
	Автомобиль Урал «Вахтовка»	1	3033300	20	52	11666,54	
Изоляция	Одноковшовый экскаватор	2	9857250	20	182	21664,29	37142,79
	Бульдозер	1	3487950	20	183	3811,97	
	Автомобиль Урал «Вахтовка»	1	3033300	20	52	11666,54	

Продолжение таблицы Д.2

Проектное решение	Наименование	Количество х	Балансовая стоимость Бс, руб.	Годовая норма амортизации На, %	Среднее количество циклов работ за год Тэкс	Сумма амортизации за цикл работ А, руб.	Итого, руб.
Криогель	Передвижная буровая установка	1	4560000	20	182	5010,99	23216,33
	Передвижная насосная установка	1	5983000	20	183	6538,80	
	Автомобиль Урал «Вахтовка»	1	3033300	20	52	11666,54	

Таблица Д.3 – Заработная плата

Проектное решение	Наименование	Количество n	Норма времени Нв, ч	Часовая ставка Чс, руб./ч	Надбавка Н, руб.	Районный коэффициент и северные РС	Суммарные расходы З.П., руб.	Итого, руб.
СОУ 1	Слесарь-монтажник	5	108	126,17	10901,09	2,5	224834,94	224834,94
СОУ 2	Слесарь-монтажник	10	108	126,17	10901,088	2,5	449669,88	449669,88
Изоляция	Слесарь-монтажник	6	108	126,17	10901,09	2,5	269801,93	441289,99
	Машинист экскаватора	2	108	163,04	14086,66	2,5	116214,91	
	Машинист бульдозера	1	108	155,09	13399,55	2,5	55273,15	
Криогель	Слесарь-монтажник	4	108	126,17	10901,09	2,5	179867,95	290230,78
	Машинист насосной установки	1	108	152,45	13171,68	2,5	54333,18	
	Машинист буровой установки	1	108	157,21	13582,94	2,5	56029,64	

Таблица Д.4 – Страховые взносы

Проектное решение	Наименование	З.П. без надбавок (З.П. - Н*n), руб.	Суммарный процент страховых взносов	Страховые взносы С.В., руб.	Итого, руб.
СОУ 1	Слесарь-монтажник	170329,50	30,2	51439,51	51439,51
СОУ 2	Слесарь-монтажник	340659,00	30,2	102879,02	102879,02
Изоляция	Слесарь-монтажник	204395,40	30,2	61727,41	100961,80
	Машинист экскаватора	88041,60	30,2	26588,56	
	Машинист бульдозера	41873,60	30,2	12645,83	
Криогель	Слесарь-монтажник	136263,60	30,2	41151,61	66401,28
	Машинист насосной установки	41161,50	30,2	12430,77	
	Машинист буровой установки	42446,70	30,2	12818,90	

Таблица Д.5 – Накладные расходы

Проектное решение	Наименование	Затраты, руб.	Процент накладных расходов	Сумма расходов, руб.	Итого, руб.
СОУ 1	Материалы	230373,72	10	23037,37	51973,55
	З.П.	224834,94	10	22483,49	
	Страховые взносы	51439,51	10	5143,95	
	ОФ и амортизация	13087,30	10	1308,73	
СОУ 2	Материалы	460747,44	10	46074,74	102780,44
	З.П.	449669,88	10	44966,99	
	Страховые взносы	102879,02	10	10287,90	
	ОФ и амортизация	14508,07	10	1450,81	

Продолжение таблицы Д.5

Проектное решение	Наименование	Затраты, руб.	Процент накладных расходов	Сумма расходов, руб.	Итого, руб.
Изоляция	Материалы	257632,00	10	25763,20	83702,66
	З.П.	441289,99	10	44129,00	
	Страховые взносы	100961,80	10	10096,18	
	ОФ и амортизация	37142,79	10	3714,28	
Криогель	Материалы	107928,20	10	10792,82	48777,66
	З.П.	290230,78	10	29023,08	
	Страховые взносы	66401,28	10	6640,13	
	ОФ и амортизация	23216,33	10	2321,63	