

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании»

УДК 622.692.4.053:624.139.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Васильев Евгений Прокопьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Бурков Петр Владимирович	д.т.н, профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

Консультант-лингвист

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	УК-1; УК-2; УК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы</i> –в области интеллектуальной собственности	УК-1; УК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	УК-1; УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	УК-2; УПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20
<i>в области проектной деятельности</i>		
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность	УК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	УК-1; УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	УК-1; УК-2; УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СВООС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли</i>
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СВООС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
		<i>стандарта 19.013 "</i> <i>Специалист по эксплуатации</i> <i>газотранспортного</i> <i>оборудования"</i>
P11	Организация работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС</i> <i>ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-</i> <i>9,ПК-14), требования</i> <i>профессионального</i> <i>стандарта 19.053"</i> <i>Специалист по эксплуатации</i> <i>нефтепродуктоперекачивающ</i> <i>ей станции магистрального</i> <i>трубопровода нефти и</i> <i>нефтепродуктов ".</i>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна, доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент ООД, ШБИП
Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП	Поздеева Галина Петровна, доцент, к.ф.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Проблематика трубопроводного транспорта в условиях Крайнего Севера	
Условия прокладки «Силы Сибири»	
Криогели	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Бурков Петр Владимирович	д.т.н, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Васильев Евгений Прокопьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Васильеву Евгению Прокопьевичу

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения новой технологии
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Линейный график выполнения работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет экономической эффективности внедрения новой технологии

Перечень графического материала:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Васильев Евгений Прокопьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ81	Васильев Евгений Прокопьевич

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

Тема ВКР:

Анализ воздействия многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов в зависимости от наличия криогеля в основаниях

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект анализа является шурфовка для определения состояния и проведения ремонтных работ магистрального трубопровода ($D_n = 1400$ мм, $\delta = 17$ мм, $P_{раб} = 9,8$ МПа) на участке с проседанием трубопровода после вывода трубопровода в ремонт на территории Республики Саха (Якутия) в теплый период года. Во время шурфовки будет распылен поливиниловый спирт для стабилизации трубопровода.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); – СТО Газпром 2-2.3-173-2007 Инструкция по комплексному обследованию и диагностике магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением – Инструкция по ОТ при шурфовке участка действующего газопровода
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Падение твердых и сыпучих объектов на рабочего; – Укусы насекомых или животных; – Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения; – Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу рабочего; – Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – Основным источником загрязнения атмосферы является на газопроводе стравливание через свечу природного газа; – Источник загрязнения гидросферы это использованные горючесмазочные материалы и аккумуляторная кислота; – Источник загрязнения литосферы это твердые промышленные отходы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – разрыв трубопровода с последующим воспламенением и взрывом; – утечка газа из трубопровода без воспламенения газа; землетрясение; – паводок; оползень; незаконная врезка в газопровод; задавливание трубопровода; террористический акт; атака условного противника; – утечка газа из трубопровода без воспламенения газа.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М. С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Васильев Евгений Прокопьевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 108 страниц, 45 рисунков, 18 таблиц, 50 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, надежность, многолетнемерзлые грунты, проседания грунта, криогель, поливиниловый спирт, напряженно-деформированное состояние.

Объектом исследования является магистральный трубопровод проложенный в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов, подверженный неравномерным нагрузкам.

Цель работы – изучение влияния на надежность трубопроводов использования криогелей для стабилизации оснований в условиях Крайнего Севера.

Новизна работы заключается в применении криогелей на основе поливинилового спирта для стабилизации проектных положений магистрального трубопровода в условиях Крайнего Севера.

Практическая значимость исследования заключается в определении эффективности применения криогелей для стабилизации проектных положений и дальнейшем применении методики на производстве.

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					9	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр.25М81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

Список сокращений

МТ – магистральный трубопровод

МГ – магистральный газопровод

ММГ – многолетнемерзлые грунты

СТС – сезонно-талый слой

НДС – напряженно-деформированное состояние

ВСТО – трубопроводная система «Восточная Сибирь — Тихий океан»

ПВС – поливиниловый спирт

НЖМФ – незамёрзшая жидкая микрофаза

АКР – автоматический компрессионный релаксометр

СПКА – установка для испытания грунта методом неконсолидированного быстрого среза

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Список сокращений</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					10	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр.2БМ81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

Содержание

Реферат	9
Содержание.....	11
Введение.....	13
1.Обзор литературы	14
1.1.Проблематика трубопроводного транспорта в условиях Крайнего Севера	14
1.2.Деградация вечной мерзлоты.....	20
1.2.1.Вечная мерзлота и недавнее изменение климата	23
1.2.2.Трубопроводы на вечной мерзлоте	27
1.3.Российский опыт эксплуатации трубопроводов в условиях Крайнего Севера.....	29
1.4.Условия прокладки «Силы Сибири».....	35
1.5.Криогели	40
2.Методика испытания образцов	45
2.1.Определение деформационных свойств методом релаксации напряжений.....	45
2.2.Определение прочностных свойств грунтов путем испытания на сдвиг	52
2.3.Определение влажности грунта засушкой до постоянной массы	58
2.4.Определение плотности грунта	59
3.Испытание образцов.....	60
4.Исследование напряженно-деформированного состояния трубопровода.....	61
5.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	64
5.1.Введение.....	64
5.2.Расчет нормативной продолжительности выполнения работ.....	64
5.3.Расчет сметной стоимости работ	66
5.4.Обоснование эффективности	72
6.Социальная ответственность.....	73
6.1.Введение.....	73
6.2.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
6.2.1.Специальные правовые нормы трудового законодательства	74
6.2.2.Организационные мероприятия при шуровке участка действующего газопровода	75

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Содержание</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					11	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ зр.2БМ81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

6.3.Производственная безопасность.....	77
6.4.Анализ опасных и вредных производственных факторов	78
6.4.1.Падение твердых и сыпучих объектов	78
6.4.2.Укусы насекомых или животных	79
6.4.3.Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения.....	79
6.4.4.Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты.....	80
6.4.5.Загрязнение воздушной среды	81
6.5.Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего	81
6.5.1.Падение твердых и сыпучих объектов	81
6.5.2.Укусы насекомых или животных	82
6.5.4.Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты.....	83
6.5.5.Загрязнение воздушной среды	84
6.6.Экологическая безопасность.....	84
6.6.1.Санитарно-защитная зона.....	84
6.6.2.Защита атмосферы	85
6.6.3.Защита гидросферы.....	86
6.6.4.Защита литосферы.....	86
6.7.Безопасность в чрезвычайных ситуациях	87
6.8.Выводы.....	88
Заключение	89
Список источников	90
Приложение А	95

					<i>Содержание</i>	<i>Лист</i>
						12
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Введение

Вечная мерзлота, или многолетняя мерзлота широко распространена в северных регионах Российской Федерации. Считается, что вечная мерзлота является наследием последнего ледникового периода, и она постепенно тает. Прочностные свойства почв связаны с долей льда в них и температурой: чем она ниже, тем выше их прочностные свойства. Распространение вечной мерзлоты может быть непрерывным, на глубину сотен метров от поверхности, или прерывистым в виде отдельных линз. Вечная мерзлота очень чувствительна к изменениям температуры: нарушение слабого поверхностного растительного слоя, например, гусеницами вездеходов или бульдозеров, приводит к быстрому оттаиванию вечной мерзлоты, разрушению ее структуры и образованию огромных оттаивающих полей. Почвы, которые в мерзлом состоянии служили надежным фундаментом, в течение нескольких летних сезонов превращаются в болотную взвесь, в которой могут всплывать трубопроводы, появляться боковые смещения и деформации.

Актуальность. Повышенный риск аварий и отказов при эксплуатации нефте- и газопроводов в зоне вечной мерзлоты объективно связан с проблемой обеспечения надежности и безопасности трубопроводного транспорта. Строительство нефте- и газопроводов на территории распространения вечной мерзлоты характеризуется значительными экономическими потерями. В таких специфических климатических и рельефных условиях обеспечение надежной и безопасной эксплуатации газопроводов является актуальной задачей. [1]

Цель работы - изучение влияния на надежность трубопроводов использования криогелей для стабилизации оснований в условиях Крайнего Севера. Задачи: рассмотреть проблематику трубопроводного транспорта в условиях Крайнего Севера; изучить российский опыт эксплуатации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
Разраб.		Васильев Е.П.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Бирков П.В.					13	108
Консульт.						НИ ТПУ зр.25М81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

трубопроводов в условиях Крайнего Севера; изучить условия прокладки «Силы Сибири»; использование криогелей на основе поливинилового спирта (ПВС); испытание образцов с криогелем; моделирование напряженно-деформированное состояние трубопровода.

1. Обзор литературы

1.1. Проблематика трубопроводного транспорта в условиях Крайнего Севера

Если грунт имеет в своем составе лед и имеет субнулевою или отрицательную температуру, то такой грунт можно называть мерзлым. Подобные грунты причисляют к многолетнемерзлым (вечномерзлым), при условии что они на протяжении многих лет (три и больше) находятся в состоянии мерзлоты.

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов поверхностный слой грунта, подвергающийся сезонному промерзанию и оттаиванию, называется сезоннопромерзающим — оттаивающим летом и промерзающим зимой, но не сливающийся с толщей многолетнемерзлых грунтов; сезоннооттаивающим — летом оттаивающий и промерзающий в зимний период полностью до слияния с толщей многолетнемерзлых грунтов.

Геоэкологические последствия нарушения теплового режима при строительстве и эксплуатации трубопроводов в зоне вечной мерзлоты приводят к антропогенному фактору (прежде всего, нарушение или полное разрушение растительного покрова, а также перераспределение снежного покрова), активации геокриологических процессов и их новообразований. Степень активации зависит от криогенной структуры мерзлых пластов, их термического состояния и их состава, от характера техногенных воздействий и особенностей ландшафта. В результате усиливается тепловой обмен в создаваемых и

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Обзор литературы</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					14	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ зр.25М81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

существующих природно-технических системах, он отдаляет вечную мерзлоту от динамического равновесия, которое развивается на разных этапах естественного развития.

Причисляемы к мерзлым грунты подразделяются по своему состоянию на следующие типы:

- Твердомерзлые — прочно сцементированные льдом грунты – им характерны относительно хрупким разрушением и очень малой сжимаемостью под нагрузками;
- Пластичномерзлые — сцементированные льдом грунты, однако они обладают вязкостью (они содержат значительное количество незамерзающей жидкости (воды)), эти грунты характеризуются высокой сжимаемостью под нагрузками;
- Сыпучемерзлые — несцементированные льдом грунты, имеющие эту особенность из-за малой влажности (обычно это песчаные и крупнообломочные грунты).

Глубина сезонного оттаивания почв зависит от значений температуры воздуха и теплофизических свойств почв. Рельеф местности, обнажение склонов и количество твердых и жидких осадков также влияют на глубину оттаивания почв. Исходя из вышеизложенного, инженеры выбирают оптимальные маршруты для прокладки трубопроводов, состав, объемы инженерных и экологических изысканий, а также обеспечивают промышленную и экологическую безопасность на них и на прилегающих территориях. Климатические и природные условия являются важными факторами при проектировании нефтегазопромысловых трубопроводов на Крайнем Севере. [2]

Сезонномерзлым, или сезонноталым, является так называемый деятельный слой, промерзающий зимой и оттаивающий летом. Термин деятельный слой получил широкое распространение среди строителей, так как он отражает важные в строительном отношении явления. В этом слое возникают и непрерывно протекают такие физико-механические и физико-

					Обзор литературы	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

рассматриваемого района и состава грунтов установили нормативную толщину деятельного слоя.

В тех случаях, когда отсутствуют данные наблюдений за глубиной сезонного оттаивания, толщину деятельного слоя определяют теплотехническими расчетами.

Ниже деятельного слоя находятся вечномерзлые грунты. Вечномерзлый грунт представляет собой твердую монолитную массу способную выдержать значительные нагрузки. Если этот грунт подвергнуть воздействию положительных температур, то он теряет монолитность и снижает несущую способность. При значительном же содержании влаги он деформируется, приобретая при этом текучее состояние, и полностью теряет способность сопротивляться.

В природных условиях в районах распространения вечной мерзлоты протаивающие летом поверхностные слои подстилаются вечномерзлыми и в большинстве своем, особенно в пониженных местах, льдонасыщенными водонепроницаемыми грунтами, которые затрудняют свободную фильтрацию воды вниз. Поэтому вода остается в протаявшем слое и влияет на физические свойства его.

Распространение многолетнемерзлого грунта на территории Российской Федерации составляет 65 процентов суши, и 25 процентов во всем мире. К южным границам России мощность толщи вечной мерзлоты уменьшается. По утверждению А.И. Калабина мощность толщи вечной мерзлоты независимо от абсолютных отметок данной местности под возвышенностями больше, чем в долинах рек и в низменностях. Нижняя граница вечной мерзлоты в горной местности представляет собой волнистую поверхность, повторяющую в несколько сглаженном виде формы рельефа поверхности земли.

Среднегодовая температура почвы является одним из основных условий, определяющих мощность вечномерзлого грунта, она сочетается с наличием отрицательных среднегодовых температур воздуха.

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
						17
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Большое влияние на мощность толщ оказывают поверхностные и подземные воды. Во всех случаях с возникновением того или иного водоема связано уменьшение мощности мерзлоты под ним. Грунтовые воды, несущие большое количество тепла, способствуют увеличению таликов и сокращению толщи веной мерзлоты.

Положение нижней границы вечной мерзлоты определяется соотношением между притоком тепла к нижней поверхности земли. В этом отношении большую роль играют подмерзлотные – артезианские воды, несущие мощный поток тепла.

Кроме того, на теплообмен оказывает глубина и скорость перемещения восходящего потока и химический состав подземных вод.

Климат играет наиболее важную роль в создании температурного режима деятельного слоя и многолетнемерзлой зоны.

По глубине многолетнемерзлые грунты могут иметь сплошное залегание, представляющее собой сплошную мерзлоту без включений талых прослоек, либо прерывистое, такое залегание представляет из себя последовательность талых и мерзлых грунтов.

На горизонтальной плоскости многолетнемерзлые грунты могут иметь, также, два вида пролегания: сплошное и прерывистое. Прерывистое распространение многолетнемерзлых грунтов представляет из себя перемеживающиеся зоны мерзлых и талых грунтов, а точнее – «островки», «пятна» или «линзы» талых грунтов в теле мерзлоты. Сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов представляет из себя обратную картину, на теле мерзлоты отсутствуют талики.[4]

Проблемы свойственные в течение эксплуатации магистрального трубопровода в условиях Крайнего Севера можно разделить на два разных типа. Во первых, стоит отметить оседание и просадку грунта вследствие повышения температуры грунта из-за высокой температуры перекачиваемого продукта и других причин. Во вторых, надо отметить пучение грунта вследствие промерзания влажного грунта в деятельном слое мерзлоты. Все эти

					Обзор литературы	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

криогенные процессы смещают проектное положение магистрального трубопровода. В свою очередь, воздействие криогенных сил нередко превышает пределы прочности подземных и наземных конструкций.[5]

Явления происходящие на глинистых и лессовых почвах называются проседаниями грунта. Ось трубопровода, когда влажность почвы поднимается выше определенного значения, опускается ниже проектного уровня.[6]

При оттаивании основания, служившей хорошей опорой для трубопровода, трубопровод подвергается неоднородным физико-механическим нагрузкам на тело трубы со стороны мерзлого или талого грунта на всем протяжении трубопровода, что приводит к нарушению целостности трубопровода.[5]

1.2. Деградация вечной мерзлоты

Вечная мерзлота играет важную роль в глобальном изменении климата, в балансе парниковых газов, экосистемах арктической среды и деятельности человека в полярных регионах. Изменение климатических параметров, в частности температуры воздуха, глубины снежного покрова и продолжительности теплого периода за последние 50 лет привело к повышению температуры вечной мерзлоты и углублению активного слоя во многих местах Арктического региона. Несколько участков вдоль южной границы вечной мерзлоты полностью утратили вечную мерзлоту, в то время как в других местах верхние части вечной мерзлоты оттаяли до уровня ниже уровня сезонного замерзания [47].

Деградация вечной мерзлоты оказывает серьезное воздействие, начиная от локальных изменений топографических и гидрологических условий, до воздействий на инфраструктуру и устойчивость северных сообществ, а также влияет на динамику растительного мира и дикой природы, а также приводит к глобальному влиянию на выбросы парниковых газов. Деградация вечной мерзлоты - это пространственно гетерогенный процесс, означающий, что характеристики вечной мерзлоты, такие как температура, толщина или

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

протяженность, могут по-разному реагировать в различных климатических зонах.

Существует множество свидетельств того, что современные климатические изменения в XX-начале XXI века вызвали деградацию вечной мерзлоты на обширных территориях Северной Америки и Евразии. С точки зрения геологической перспективы это не является чем-то уникальным. Климатические переходы между ледниковым и межледниковым периодами всегда были связаны с изменениями в вечной мерзлоте. Последний ледниковый максимум позднего плейстоцена за 20000-118000 лет до настоящего времени очень важен для понимания связи между климатом и альтернативными формами оледенения, то есть ледниками и вечной мерзлотой. В это время Арктика была почти на 20 °С холоднее, а уровень моря на 120-130 м ниже, что привело к вечной мерзлоте на открытых континентальных шельфах арктических морей. Большая часть территории, получившая достаточное количество осадков, была покрыта ледниками, включая зону от Аппалачей до Скалистых гор в Северной Америке, Гренландию, Арктические острова, Ирландию, Британские острова, Скандинавию, Полярный Урал и Таймыр. В отличие от этого, территории с холодным и сухим климатом, включая часть Франции, Германии, Польши, Чехии, Венгрии, Украины, большую часть европейской части России, Юго-Западную Сибирь и Северный Казахстан, были заняты вечной мерзлотой примерно за 12000-118000 лет до настоящего времени. В период раннего голоценового климатического оптимума (8000-6 000 лет до настоящего времени) вечная мерзлота отступила на север в Северной Америке и исчезла в Европе и значительных районах Северной Евразии, в том числе в крупных районах Западной Сибири к югу от Северного Полярного круга. Вечная мерзлота не растаяла полностью в районах с высоким содержанием льда и до сих пор присутствует на больших глубинах (так называемая “реликтовая” вечная мерзлота). Последующее охлаждение (5 000-3 000 лет до настоящего времени) привело к усилению вечной мерзлоты, что позволило новой Голоценовой мерзлоте достичь вершины старой

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

(плейстоценовой) вечной мерзлоты, расположенной к северу от арктического круга. В местах, где Плейстоценовая вечная мерзлота оттаивала на глубину 150-200 м, вновь образовавшаяся Голоценовая вечная мерзлота не могла достичь старой вечной мерзлоты. Это создало трехслойные профили вечной мерзлоты, в которых относительно молодая Голоценовая вечная мерзлота отделена от Позднеплейстоценовой зоной незамерзшего грунта. Более мелкие сдвиги и отступления границы вечной мерзлоты произошли в течение последних 3000 лет. Последнее заметное продвижение вечной мерзлоты соответствовало малому ледниковому периоду (1550-1850 г. н. э.), когда температура была примерно на 1 ° С холоднее, чем в настоящее время, что привело к вечной мерзлоте толщиной до 25 м и продвижению вечной мерзлоты в места, более удаленные от нынешней позиции. Вечная мерзлота из Малого ледникового периода возникает в местах, где толстый слой торфа смог сохранить его, несмотря на более теплые температуры воздуха.

Разница между нынешними изменениями вечной мерзлоты и прошлыми событиями очень велика. Во-первых, темпы современного изменения климата беспрецедентны. Температура воздуха в отдельных районах Арктики с начала XX века возросла до 5 ° С [47]. Во-вторых, влияние изменения климата на вечную мерзлоту усугубляется техногенными факторами и землепользованием. Наконец, нынешняя ситуация резко отличается от прошлой из-за присутствия значительного населения в регионах, занятых в настоящее время вечной мерзлотой. Экономическая деятельность и развитие инфраструктуры в холодных регионах в значительной степени зависят от наличия вечной мерзлоты. Будь то строительство канатной дороги в Швейцарских Альпах, железной дороги на Тибетском плато, или металлургический завод в Сибири, где необходимо учитывать изменение условий вечной мерзлоты. Невыполнение этого требования может привести к ухудшению состояния природной среды, что приведет к возникновению опасных условий для жизни человека и инфраструктуры [47].

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

Чтобы понять опасности, связанные с деградацией вечной мерзлоты и их воздействием на инфраструктуру, общество и окружающую среду, нам прежде всего необходимо понять, что делает систему вечной мерзлоты уникальной и какие факторы ответственны за ее изменения. Физико-математические представления этих факторов позволяют построить модели вечной мерзлоты, способные масштабировать локальные наблюдения, собранные на ограниченных наблюдательных площадях, в более крупные регионы.

В сочетании с климатическими моделями они используются для прогнозирования будущих изменений вечной мерзлоты и оценки воздействия этих изменений на другие природные, антропогенные и экономические системы.

1.2.1. Вечная мерзлота и недавнее изменение климата

Последние климатические изменения ярко выражены в районах вечной мерзлоты. Начиная с 1980 года Арктика начала нагреваться примерно в два раза быстрее глобального уровня, демонстрируя самые сильные изменения температуры зимой и весной, а самые низкие - осенью. В период 1976-2012 г. весенние температуры над крупными регионами Сибири и Чукотки повышались на 0,8-1,2 °C за десятилетие [47].

Изменения в условиях вечной мерзлоты усугубляются в областях человеческой деятельности. В Арктической тундровой зоне насчитывается около 370 населенных пунктов. Хотя эти населенные пункты относительно невелики в большинстве районов Арктики, в некоторых городах Российской Арктики население составляет более 100 000 человек [47]. Таким образом, потепление вечной мерзлоты может иметь серьезные социально-экономические последствия, поскольку большая часть существующей инфраструктуры потребует дорогостоящих инженерных решений для стабилизации грунтов на вечной мерзлоте. Интенсификация береговой эрозии, массовое истощение и термокарстовые процессы в низменных районах, вероятно, приведут к изменению ландшафтов тундры, что негативно скажется на северных сообществах.

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

тенденции потепления были приписаны морозным курганам, покрытым торфом (0,04 °С/год). В местах, где температура вечной мерзлоты близка к 0 °С, за весь период измерений (1975-2009 г.) не было зафиксировано никаких изменений, так как в грунте уже происходил важный обмен теплоты плавления. Таяние вечной мерзлоты наблюдалось также в течение последних 30 лет в Южной лесотундре Уренгойского газоконденсатного месторождения. Как в Западной Сибири, так и на Европейском Севере России более значительные изменения температуры наблюдались в более холодных районах вечной мерзлоты. В восточной части северной Якутии с 1980 года наблюдалось потепление вечной мерзлоты до 1,5 °С, однако участки, расположенные на западе, до недавнего времени не демонстрировали значительной тенденции к потеплению. Меньшие тенденции потепления наблюдались вблизи Чары (Байкальский район), колеблясь от 0,025 до 0,04 °С/год. Еще большие изменения вечной мерзлоты наблюдаются в некоторых районах Северной Америки. Начиная с 1980-х годов, вечная мерзлота была зафиксирована на уровне 0.3-1.0 °С во внутренних районах Аляски, 1-2 °С в арктических предгорьях и до 3-4 °С в Арктической прибрежной равнине. Вечная мерзлота на острове Гершель прогрелась только 2 раза за последние 100 лет, показав, что потепление вечной мерзлоты ускорилось в последние десятилетия [47].

Канадская арктическая вечная мерзлота прогрелась со скоростью 0,03-0,05 °С/год и до 0,1 °С/год на острове Элсмир. Потепление в западной части североамериканской Арктики продолжалось с 1970-х годов, но в последнее десятилетие оно замедлилось. В то же время восточная часть все еще переживает тенденции потепления, начавшиеся в начале 1990-х годов. За последние 50 лет в Квебекском регионе Канады было зафиксировано отступление южной границы вечной мерзлоты на 130 км на север [47]. Температура вечной мерзлоты значительно повышается в Скандинавии. Примеры из различных регионов показывают, что приповерхностная вечная мерзлота весьма чувствительна к наблюдаемым изменениям климата. В целом более холодная вечная мерзлота переживает более высокие темпы потепления

					Обзор литературы	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

по сравнению с более теплой вечной мерзлотой; однако большая гетерогенность сохраняется как пространственно, так и временно, даже в пределах относительно небольших регионов. Более холодная температура вечной мерзлоты дает меньше незамерзшей воды, что обеспечивает более эффективную теплопроводность. По мере того как климат смещается к теплым температурам, температура вечной мерзлоты соответственно возрастает, пока не будет достигнуто новое климатическое равновесие вечной мерзлоты. Увеличение количества незамерзшей воды снижает способность вечной мерзлоты передавать тепло. Когда вечная мерзлота приближается к точке плавления льда, требуется значительное количество скрытого тепла, для перевода воды из замёрзшего состояния в жидкое, что требует значительного времени для оттаивания мерзлоты, а не для ее нагрева. Это объясняет, почему более холодная вечная мерзлота нагревается с большей скоростью, чем вечная мерзлота, которая близка к точке плавления. К нынешней тенденции потепления вечной мерзлоты могут добавиться и другие экологические и техногенные факторы, такие как увеличение глубины снежного покрова или сокращение растительности. Деградация вечной мерзлоты происходит по-разному в непрерывной зоне вечной мерзлоты и прерывистой зоне вечной мерзлоты. Деградация непрерывной зона вечной мерзлоты выражается в увеличении температуры вечной мерзлоты и соответствующем уменьшении толщины вечной мерзлоты с целью установления нового равновесия. Хотя корректировка температуры вечной мерзлоты, измеренная на глубине нулевой среднегодовой амплитуды, является относительно быстрым процессом (например, отстает всего на несколько лет от изменения температуры воздуха), таяние вечной мерзлоты со дна занимает гораздо большего времени (сотни лет). Деградация прерывистой зоны вечной мерзлоты выражается в медленном повышении температуры до точки плавления, после чего может потребоваться десятки-сотни лет для оттаивания вечной мерзлоты в зависимости от состава грунта и содержания льда. Спорадические и островные зоны вечной мерзлоты в Арктике в значительной степени контролируются неклиматическими

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
						26
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

факторами, такими как наличие торфа. Повышение температуры грунта в большинстве районов вечной мерзлоты сопровождалось повышением толщины активного слоя; однако эта величина была переменной даже в пределах небольших регионов. Значительное увеличение толщины активного слоя было отмечено в Гренландии и на Шпицбергене, но оно не является пространственно однородным. Постепенное увеличение толщины активного слоя с 1970 года привело к исчезновению вечной мерзлоты в нескольких болотных ландшафтах в районе Абиско. Аналогичная ситуация наблюдалась и на Европейском Севере России, где в 1996-2013 г. наблюдалось прогрессирующее повышение уровня толщины активного слоя, а также в недрах Аляски. Центральная и Восточная Канада и Центральная Азия также подверглись резким изменениям толщины активного слоя. Участки, расположенные в Западной Сибири, на северном склоне Аляски и в Западной Канаде, не демонстрировали долговременных тенденций роста, но в течение последних нескольких лет испытывали несколько более глубокие глубины ежегодной оттепели. Пространственно распределенные многолетние наблюдения за оседанием талого грунта показали, что явное утолщение активного слоя (деятельный слой) может быть связано с таянием сегрегационного льда на дне активного слоя вследствие уплотнения богатой льдом вечной мерзлоты [47].

1.2.2. Трубопроводы на вечной мерзлоте

Трубопроводы широко используются в холодных регионах для транспортировки тепла, воды и побочных продуктов переработки нефти и минеральных ресурсов. Последние представляют наибольший интерес, поскольку они простираются на большие территории с резко отличающимися экологическими и климатическими условиями. Обширные сети нефте-и газопроводов в России простираются более чем на 71 000 км, причем значительная их часть построена на вечной мерзлоте. В настоящее время рассматривается вопрос о строительстве нескольких газопроводов на Аляске и в Канаде [47]. Деформация трубопроводов и связанные с этим разливы нефтепродуктов особенно опасны в регионах на вечной мерзлоте, так как

					Обзор литературы	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

низкая биологическая активность в условиях тундры означает, что для восстановления хрупкой Арктической экосистемы потребуются годы. Деформация трубопроводов в районах вечной мерзлоты обычно ассоциируется с процессами морозного пучения и оседания, таянием грунтового льда, заболачиванием и развитием термокарста, а также термоэрозионными и солифлюкционными оползнями. Надземные трубопроводы могут испытывать деформацию, связанную с усиленным морозным пучением, поскольку активный слой увеличивается после удаления растительности и органического слоя во время строительства. Увеличение деятельного слоя также приводит к уменьшению эффективной площади бокового промерзания опорных свай в вечной мерзлоте, что в конечном итоге приводит к поднятию свай и снижению способности поддерживать конструктивный вес. Перераспределение веса между соседними сваями создает дополнительные механические напряжения, которые могут привести к разрыву трубы. Например, только в Ямбургском районе (Западная Сибирь) в 2007-2009 годах из-за процессов морозного пучения пришлось перестроить около 8000 опор трубопроводов [47]. Подземные трубопроводы страдают от интенсивной коррозии, теплопотерь, связанных с транспортировкой нефтепродуктов и газа, оседания грунта и водозаборов. Просадка может продолжаться более десяти лет после строительства траншей для подземных кабелей и трубопроводов .

В ходе исследования, проведенного в Якутии, было проанализировано 2174 км трубопроводов для классификации деформаций в 2010-2010 годах. Авторы обнаружили, что условия вечной мерзлоты ответственны только за 3 процента всех деформаций. Однако если принять во внимание деформации, вызванные обслуживанием, то это число достигает 17 процентов, что иллюстрирует косвенное воздействие изменений вечной мерзлоты. Другие исследования деформаций трубопроводов в Западной Сибири дают несравнимую величину в 21% из-за механических деформаций, в том числе связанных со снижением способности свай выдерживать конструктивный вес [47]. В Западной Сибири ежегодно происходит 35 000 аварий на

					Обзор литературы	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

трубопроводах. Деформации трубопровода обычно происходят в местах пересечения линейных структур с ледяными клиньями и массивными ледяными отложениями. В России на поддержание эксплуатационной устойчивости трубопроводов на вечной мерзлоте ежегодно тратится 55 млрд рублей. Учитывая, что освоение нефти и газа в Арктике, скорее всего, продолжится, старение инфраструктуры и прогнозируемое изменение климата увеличат количество деформаций и утечек из трубопроводов, приводящих к ухудшению состояния экосистемы [47].

1.3. Российский опыт эксплуатации трубопроводов в условиях Крайнего Севера

Опыт, накопленный российскими специалистами в течение эксплуатации трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах, составляет не одно десятилетие. Это делает Российскую Федерацию одним из лидеров в области добычи и транспортировки углеводородов в Арктике. В течение этого времени в России были собраны уникальные знания и опыт в области инженерно-геологических изысканиях, строительства, проектирования и эксплуатации магистральных трубопроводов в условиях Арктики.

С началом роста цен на углеводороды в 2000 году и достижением максимума в 2008 году, на территории Российской Федерации были проложены около 12 тыс. км нефтепроводов и 23 тыс. км газопроводов, преимущественно находящаяся на территории распространения многолетнемерзлых грунтов [7]. Крупнейшими и инновационнейшими называют такие проекты, как: нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан», нефтепровод «Ванкор-Пурпе», нефтепровод «Заполярье-Пурпе», газопровод «Ямал-Европа», нефтепровод «Куюмба-Тайшет» и газопровод «Сила Сибири».

Бум в строительстве трубопроводов привел к развитию всех смежных областей:

- 1) обновление нормативной базы и нормативных документов;
- 2) создание инновационных методов в области изысканий;

					Обзор литературы	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3) применение новейших технологий и новых материалов в ходе проектирования проектов и их строительства;

4) разработка методов численного моделирования для изучения взаимодействия трубопровода и многолетнемерзлого грунта, и на основе полученных данных принимаются инженерные решения в течение проектирования трубопровода и его эксплуатации, наряду с этим используется вероятно-статистический анализ и оценивание надежности трубопроводной системы и рентабельности;

5) повышение значимости мониторинга геотехнического состояния.

Активное развитие современных технологий и их применение в трубопроводном бизнесе обусловлено суровыми условиями окружающей среды, необходим требовательный подход к проблемам магистральных трубопроводов в условиях вечной мерзлоты, иногда даже использование новейших технологий не всегда защищает от возникающих рисков из-за вечной мерзлоты. На магистральных трубопроводах в России происходит около 40-50 тыс. инцидентов различного масштаба, при этом 80 процентов из этих инцидентов происходят в многолетнемерзлых грунтах [8]. Причина этого высокая динамичность системы «магистральный трубопровод - мерзлота», которая является чрезвычайно чувствительной системой по отношению к факторам внешней среды (изменение климата, изменение ландшафтных условий, антропогенное воздействие) и переменам в параметрах самой системы (режим работы магистрального трубопровода). «Транснефти» опубликовала статистику, согласно ей уровень аварийности на нефтепроводах компании в 2009 году составил 0,099 на 1000 км, а количество инцидентов, приводших к разливу нефти, составило 0,006 на 1000 км. На газопроводах компании «Газпром» этот показатель был равен 0,2 на 1000 км. Эти показатели российских компаний на порядок ниже, нежели показатели магистральных трубопроводов Западной Европы и США (0,32 и 0,48) [7].

Магистральные газопроводы Западной Сибири находились под наблюдением почти 50 лет. Так, с 1969 г. на «Мессояхско-Норильском»

					Обзор литературы	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

газопроводе глубина сезонно-талого слоя (СТС) увеличилась в 1,5-2,0 раза при увеличении средней температуры вечной мерзлоты на 0,8-1,5 °С на возвышенных участках и до 16-20 °С под землей. Это привело к ежегодным колебаниям в опорах труб на 5-10 см под влиянием сезонного волнения. В первые годы эксплуатации число несчастных случаев достигало 130 в год, в том числе крупные аварии в 1969 и 1979 годах. Важным фактором в возникновении несчастных случаев является почва - уровень аварий на суглинистых породах достиг 0,5-0,6 несчастных случаев на 1 км трубопровода, а на песке - 0,15 на 1 км [9].

Продолжительное наблюдение (мониторинг) за проложенным под землей газопроводом «Надым-Пунга» ведется с 70-х годов прошлого века. В течение этого времени 60-70% трубопроводов на мерзлых грунтах и 20-50% трубопроводов на талых грунтах растаяли и всплыли [9]. За 10-15 лет образовался оттаивающий ореол, который в некоторых случаях достигает 6-7 м в радиусе. Повышение температуры почвы составило 3-22 °С [9].

В 2009 году во время строительства нефтепровода «Ванкор-Пурпе» были опробованы различные инновационные технологии строительства. В числе этих инновационных технологий было применены новые теплоизоляционные материалы, новейшие термостабилизаторы грунта, компенсаторы трубопроводов и так далее. Но, вопреки всем этим усилиям, в 2015 году нефтепроводу срочно потребовалась капитальная реконструкция. Для ремонта трубопровода было приобретено около 19 тысяч тонн труб на 3,5 миллиарда рублей. На сайте Роснефти на странице госзакупок были объявлены тендеры на комплексные инженерно-геологические изыскания, капитальный ремонт (на протяжении 360 километров наблюдались критические дефекты), монтаж дополнительного количества термостабилизаторов грунта и создание сети мониторинга общей стоимостью несколько сотен миллионов рублей.

Многие исследователи сообщали об активации криогенных процессов вдоль трубопровода «Ванкор-Пурпе». В том числе, писали о большом количестве озер термокарстового типа имеющих глубину 0,5-1,0 м и ширину

					Обзор литературы	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

10-20 м и вздымающихся бугров высотой до 1-2 м вдоль южного участка трубы. В то же время наблюдается активная термоэрозионная эрозия траншейных почв, оседания грунтов на поверхности земляного полотна в среднем на величину равную 8-30 см. В северной части трассы трубопровода наблюдается снижение эффективности работы термостабилизаторов, вследствие этого трубопровод испытывает потерю несущей способности основания.

Но все же, российская практика свидетельствует о способности существующего арсенала прокладывать магистральные трубопроводы почти на любом виде ландшафта мерзлоты. Такие ландшафты проявляются в широком диапазоне: начиная с северных районов с тяжелыми геокриологическими условиями, заканчивая южными границами вечной мерзлоты. Новейшие трубопроводы, построенные Россией, являются продолжением развития не только проектов советских проектировщиков и строителей, но и активно применяют опыт предшествующих современных проектов: например, газопровод «Сила Сибири» основан на опыте «ВСТО», также было разработано много успешных решений при строительстве «Заполярье-Пурпе» на основе разработок используемых в строительстве «Ванкор-Пурпе». Скорость ввода в эксплуатацию магистральных трубопроводов также поразительна, например, для ВСТО (его длина составляет около 4000 км) прошло всего 6 лет от первых обсуждений целесообразности и маршрута проекта до сдачи в эксплуатацию первого этапа. Можно выделить следующие интересные технические решения:

1) Основной метод прокладки трубопроводов - подземный. Это главный метод сооружения для ВСТО и «Силы Сибири». Эстакадная прокладка использовалось только на территории распространения сильнольдистых почв на трассе магистральных трубопроводов «Ванкор-Пурпе» и «Заполярье-Пурпе». Интенсивное использование подземного метода основано на качественных изыскательских работах, использовании специальных проектных решений, постоянном мониторинге трубы и особенностях структуры грунтов.

					<i>Обзор литературы</i>	<i>Лист</i>
						32
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

2) Распространены трубопроводные компенсаторы для подземных и надземных типов прокладки трубопровода. Таким образом, на трубопроводе «Куюмба-Тайшет» для купирования сдвига трубопровода, вызванных термокарстовым оседанием в районах распространения льдистых пород, были использованы инновационные вертикальные компенсаторы [9].

3) Балластирующие и анкерные устройства активно используются для обеспечения горизонтального положения подземных трубопроводов. Их основным назначением является защита от всплытия и выпучивания трубы, и их можно устанавливать не только во время монтажа, но и во время эксплуатации [9].

4) Разработка инновационных подходов для изолирования покрытиями магистральных трубопроводов, нацеленных на обеспечение защиты от перетоков тепловых потоков в системе «трубопровод - грунт» и от коррозионного воздействия. Даже проводились разработки новейших изоляционных материалов. Как следствие, для изоляции магистрального трубопровода «Заполярье-Пурпе» в компании «Транснефть» был разработан новый нормативный документ (СТТ - 23.040.000 - КТН - 095 – 11) [9]. Пенополиуретан и пенополиэтилен активно используются для теплоизоляции. Следует отметить теплоизоляционные экраны, которые устанавливают под трубопроводом на дно вырытой траншеи, они эффективны против сильнольдистых грунтов. Правильное использование изоляционных технологий позволяет снизить использование искусственного промораживания почв в основании и связанные с этим экономические затраты.

5) Можно сказать, что использование термостабилизаторов постепенно уменьшается - например, в течение стройки проекта по прокладке нефтепровода «Ванкор – Пурпе» были смонтированы порядка 65 000 термостабилизаторов [11]. В свою очередь на проекте строительства «ВСТО» мощные холодильные установки были применены лишь на территории насосных станций. Эту тенденцию можно объяснить тем, что обслуживание технологии искусственной термостабилизации является сложной задачей. Это

					Обзор литературы	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

относится и к мониторингу их эффективности. Пример всего этого является магистральный трубопровод «Ванкор-Пуурпе», где порядка 40 % термостабилизаторов не выполняли поставленную на них задачу [9].

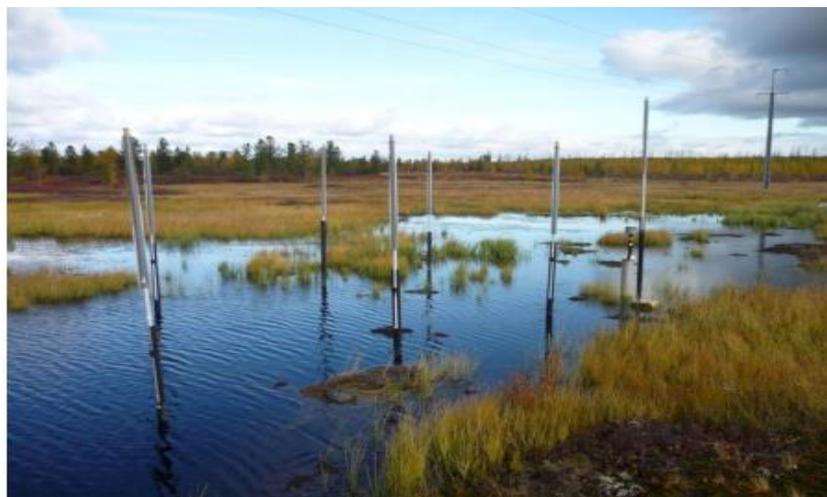


Рисунок 4 – Трубопровод «Ванкор-Пуурпе» и его термостабилизаторы на южном участке.[9]

На рисунке показаны основные технические решения, которые используются для трубопроводов на вечной мерзлоте в России.



Рисунок 5 – Технологии, применяемые при строительстве магистральных трубопроводов в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов

За последние десятилетия Россия приобрела уникальный опыт применения новейших технологий при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов в условиях вечной мерзлоты. Однако недооценка суровых условий вечной мерзлоты в ходе изысканий,

проектирования и эксплуатации приводит к серьезным последствиям, вызванными активацией опасных геокриологических процессов.

1.4.Условия прокладки «Силы Сибири»

На сегодняшний день вопрос строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов обретает большую значимость из-за реализации масштабного международного строительства магистрального газопровода «Сила Сибири». Надо отметить, что внушительная часть трубопровода проложена на территории многолетнемерзлых грунтов (Республика Саха (Якутия)).

Основываясь на данных инженерно-геологических изысканий было определено, что геолого-литологический разрез состоит на 1,3–1,5 метра вглубь из полутвердых суглинков. На некоторых зонах твердые супеси пролегают на 0,9–1,5 метра вглубь, а вот мерзлые и слабобльдистые на 2,4–2,9 метра вглубь. Зоны примыкающие к долине временного водотока, согласно данным горнопроходческих исследований, имеют на глубине 0,7 метров твердые супеси с дресвой. Также известно, что они подстилаются на 6 метров вглубь слобольдистыми супесями с дресвой. Низина геологического разреза на 10 метров вглубь имеет мощность из мерзлых суглинков, имеющих слабобльдистость. На данной территории многолетнемерзлые грунты распространены по всей глубине пробуренных скважин на глубину 5-15 метров.

Также был подробно изучен один участок магистрального трубопровода. Этот изученный участок является геологическим разрезом трубопровода рядом с пикетом 330 участка части трубопровода «Чаянда – Ленск» (км 0 - км 60).

Элементы геологического разреза рядом с пикетом 330 состоят из: код 110000 соответствует почвенно-растительному слою; код 140000 соответствует твердому и пылеватому легкому суглинку; код номер 220010 принадлежит грунту щебенистому; а коды 240125 и 240126 принадлежат доломитам имеющим разную прочность.

					Обзор литературы	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Республиканский климат, в значительной степени, определяется географическим расположением в центре Севера Азии, расстоянием от морей с теплыми течениями и влиянием холодных течений Северного Ледовитого океана, а также давлением местных физических и географических факторов, в особенности рельефа.

Климат Республики Саха (Якутия) характеризуется особенностями свойственными резко континентальному климату: низкие зимние и высокие летние температуры воздуха.

Самые низкие температуры воздуха наступают с ноября по март, достигая абсолютной минимальной температуры минус 61 °С в январе. Самые высокие температуры воздуха наступают между июлем и августом, достигая абсолютной максимальной температуры плюс 36 °С. Среднегодовая температура воздуха составляет минус 6,2 °С. Среднемесячная температура января (самый холодный месяц) составляет минус 29,8 °С, июля (самый теплый месяц) – плюс 17,6 °С. Среднемесячная относительная влажность довольно высока: она достигает максимума (75%) в холодное время года и минимума (53%) в июле.

С точки зрения геоморфологии магистральный газопровод проложен на территории «Приленского плато». «Приленское плато», являясь основной геоморфологией трассы магистрального газопровода «Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск», расположено на юго-восточной оконечности «Среднесибирского плоскогорья», в то же время оно относится и к среднему течению реки «Лена». Оно является равниной возвышенной в среднем до абсолютных высот равных 300-600 метров. «Приленское плато» состоит в основном из карстовых пород (гипс, известняк), чувствительных к размыванию, что привело к образованию причудливых скалистых форм, которые стали широко известны под названием «Ленские столбы», возвышающиеся над долиной реки.

Резко континентальный климат Республики Якутия (Саха) является причиной практически повсеместного распространения многолетнемерзлых

					Обзор литературы	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

грунтов. Он формируется благодаря низким температурам зимой и небольшой мощности снежного слоя. На этой территории в течение холодного времени года земля лишается значительного количества тепловой энергии и оказывается замершей на существенную глубину. В результате таких условий земля трансформируется в замершую глыбу земли. При наступлении теплого периода года замершая зимой земля не успевает полностью растаять и потому отрицательные температуры укореняются в недрах земли на протяжении тысяч лет.

Согласно схеме геокриологического районирования Среднесибирской части России, территория расположения проектируемых объектов находится в пределах Приленской провинции, которая характеризуется прерывистым распространением вечной мерзлоты.

В геокриологическом отношении территория района планируемой деятельности относится к зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты. Присутствует вечная мерзлота сливающихся и не сливающихся типов. Площадь распространения ММГ колеблется от 40 до 80%. Наибольшая мощность замершей зоны на равнинах и плоскогорьях составляет 100 - 250 м. Максимальная глубина сезонного оттаивания в песке - 3,0-4,6 м, в суглинках - 2,0-2,7 м. Температура на глубине нулевых колебаний составляет от минус 1 °С до минус 4 °С.

На глубину 5-10 м в долинах рек и впадинах рельефа развиты повторно-жильные льды спорадического распространения на описываемой территории.

Зона вечной мерзлоты характеризуется двухслойной структурой. Его верхняя часть состоит из вечной мерзлоты, толщиной от 300 до 400 м на водоразделе, до 30-90 м на низких террасах. Нижняя часть разреза на глубину 500 - 900 м состоит из горных пород, охлажденных ниже 0 °С, содержащих соленую воду и рассолы.

ММГ на поверхности преимущественно островного распространения со среднегодовыми температурами от минус 0,3 до минус 1 °С. Замерзшая островная зона представлена только отдельными «островками» вечной

					Обзор литературы	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

мерзлоты, приуроченными, как правило, к болотистым днищам речных долин, торфяным буграм, а также к нижним склонам северной экспозиции. Общая площадь таликов составляет более 80%. Температура мерзлых грунтов на глубине 10 м колеблется от минус 0,3 °С до минус 0,9 °С.

Состав грунта территории в значительной степени влияет на глубину ежегодного цикла «промерзания-оттаивания». Верхняя часть сезонно талого слоя (СТС) при разрезе, оказывается, состоит из торфа. Но значительная часть разреза представлена из следующих составляющих: (легкие и тяжелые, пылеватые и песчанистые) суглинки; супеси; пески; дресвяные, галечниковые, щебнистые и глыбовые насыщенным водой грунты; доломиты и выветрившиеся известняки. Глубина СТС варьируется от 2,0 м до 3,5 м. В талом состоянии торф насыщается водой. В составе всех грунтов находятся органические вещества.

На территории, по которой проложен газопровод «Сила Сибири», фиксируются довольно опасные геологические явления, которые выделяются относительно высокой интенсивностью. К общему сведению, экзогенные геологические явления (карстовые и склоновые процессы, морозные пучения, заболачивание и эрозионные процессы) имеют интенсивность составляющую более 25%. [12]

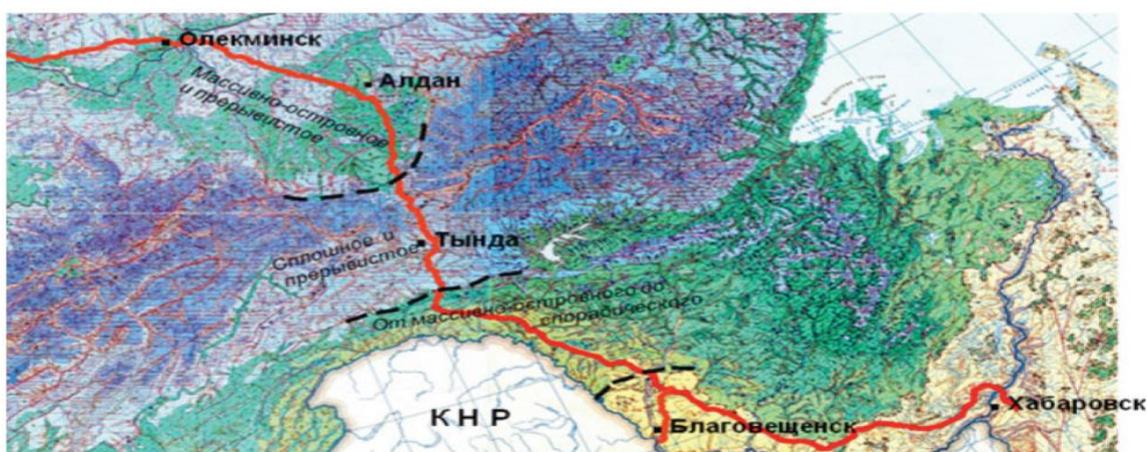


Рисунок 7 – Типы распространения многолетнемерзлых грунтов на протяжении трассы газопровода «Сила Сибири» [13]

1.5. Криогели

Структурированные полимерные физические тела, называемые гелями, могут быть охарактеризованы как системы растворителей с иммобилизованным полимером, в которых макромолекулы связаны в пространственную сеть нефлуктуационными связями, которые достаточно стабильны во времени. Природа этих связей и морфология сетей определяются химической структурой и методикой получения гелей.

Гели обычно характеризуются способностью к значительным обратимым деформациям при отсутствии текучести. [15]

Существует два принципа получения гелей [16, 17]:

- во-первых, через набухание полимера;
- во-вторых, путем формирования геля в жидкой среде.

В первом случае ограниченное набухание несшитого полимера приводит к образованию геля. Второй вариант - самый распространенный способ образования геля. В начальном растворе образуются разветвлённые полимерные цепочки благодаря присутствию в растворе мономеров.

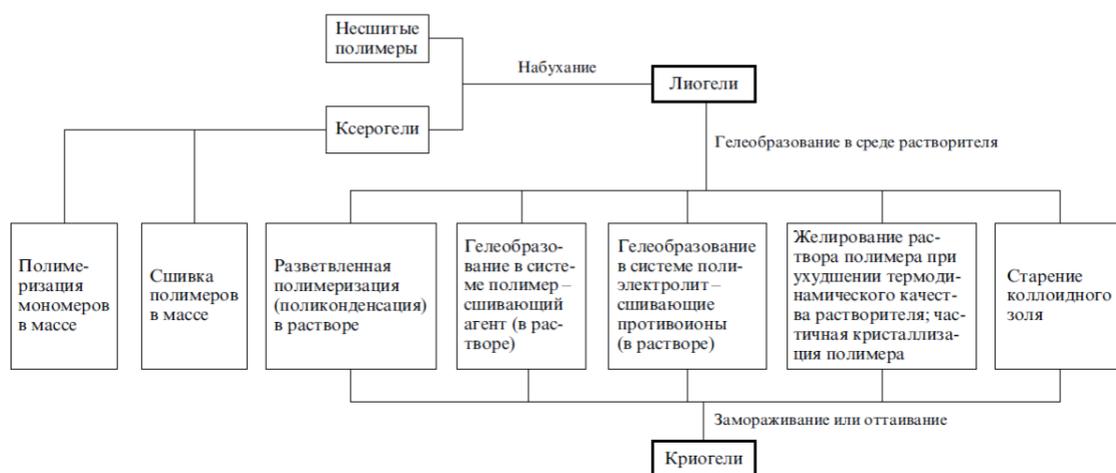


Рисунок 8 – Методы формирования полимерных гелей. [18]

Установлено [19], что все типы гелеобразования, протекающие в среде растворителя, можно реализовать также и в криогенном варианте при подходящих режимах замораживания, выдерживания в замороженном состоянии и оттаивания. Таким образом, криотропное гелеобразование представляет собой специфическое гелеобразование, которое возникает в

результате криогенной обработки исходных систем, способных к гелеобразованию.

Одним из важнейших условий образования криогеля является образование кристаллов из объема растворителя имеющей низкую молекулярную массу в начальном растворе.

Неглубокое замораживание систем «растворитель-гелеобразующий полимер» образует систему имеющую фазовую неоднородность, в составе которой присутствует незамерзшая жидкая микрофаза. Каркас полимерного криогеля формируется как раз в этих незамерзших микрофазах замороженного образца, при условии содержания в исходном растворе гелеобразующих агентов. [18]

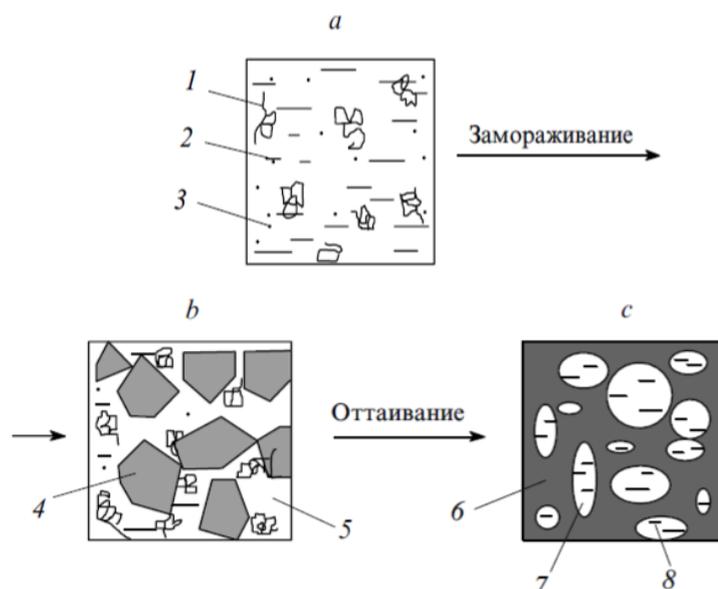


Рисунок 9 – Гелеобразование криогенного типа [20]:

a - исходный образец; *b* - образец после замораживания; *c* - криогель.

1 - полимерный предшественник; *2* - растворитель; *3* - низкомолекулярные вещества или мономерный предшественник; *4* - поликристаллы замершего растворителя; *5* - НЖМФ; *6* - полимерная сетка гелевой фазы гетерофазного криогеля; *7* - макропоры; *8* - растворитель.

Объем незамерзшей жидкой микрофазы зависит от многих факторов, в частности, от природы растворителя, начальной концентрации и молекулярной массы растворенных веществ, температуры системы, режима замораживания, наличия растворимых или нерастворимых примесей и т. д.

После размораживания замороженного препарата получают макропористый криогель, содержащий большие поры разных размеров и геометрии. В этом случае порообразователи представляют собой поликристаллы замороженного растворителя. Плавление или растворение этих порогазов после оттаивания оставляет полости в массе криогеля, заполненных расплавленным растворителем, а силы поверхностного натяжения самой гелевой фазы деформируют поверхность стенок макропор, которые приобретают округлую форму вместо ограненной. Кроме того, материал стенок имеет свою пористость. Поскольку образование такого геля происходит при высоких концентрациях предшественников, получающаяся в результате полимерная фаза представляет собой частую сеть микропористой структуры. В получившемся криогеле образующиеся макропоры образуют сообщающуюся систему. Это происходит вследствие роста кристаллов растворителя в направлении центра объема сосуда от периферии до соприкосновения с другим кристаллом во время заморозки системы. [18]

Наиболее известными и изученными гелевыми материалами являются *физические криогели*, которые формируются благодаря циклам «замораживания-оттаивания». В большей степени это суждение является верным по отношению к криогелям основанным на поливинилово-спирте.

Растворы ПВС, амилопектина, мальтодекстрина или крахмала наиболее эффективны при создании *физических криогелей*. Это происходит благодаря их способности относительно медленно застудневать в течение понижения температуры системы. Эти гелевые материалы без труда замораживаются, держаться на заданном уровне температуры (отрицательная) определенное время и размораживаются. Криогели на основе этих гелевых материалов имеют свойство *термообратимости*. Термообратимость проявляется в способности плавиться при высоких температурах и повторно образовывать криогели после одного цикла «замораживания-оттаивания».[19, 21]

В зависимости от строения гелеобразующего агента, межмолекулярные связи имеют определенную химическую природу, которые, в свою очередь,

					Обзор литературы	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

являются стабилизаторами пространственных узлов полимерной сетки криогеля. Обычно для криогелей на ПВС, крахмале и других полигидроксильных полимеров это водородные связи.

Режим оттаивания в значительной степени влияет на характеристики *физических криогелей*. Чем меньше скорость оттаивания, тем больше жесткость и термостабильность приобретают данные физические криогели. Эта тенденция типична для тех термообратимых криогелей, у которых главным типом межмолекулярных взаимодействий является водородное связывание.[22]

Концентрация ПВС в исходном растворе, г·дл ⁻¹	Скорость оттаивания замороженных образцов, °С·мин ⁻¹	Сдвиговый модуль препаратов криогелей ПВС, кПа
3.0	0.30	< 0.3
3.0	0.03	< 0.3
5.0	0.30	< 0.3
5.0	0.03	1.73
7.0	0.30	1.80
7.0	0.03	3.93
10.0	0.30	4.94
10.0	0.03	10.6
10.0 ^a	3.0	1.40
10.0	0.30	3.20
10.0	0.03	9.40

Рисунок 10 – Влияние скорости размораживания на реологические свойства криогелей ПВС.[19]

Эти данные свидетельствуют о том, что образование криогеля ПВС протекает как раз на стадии размораживания.

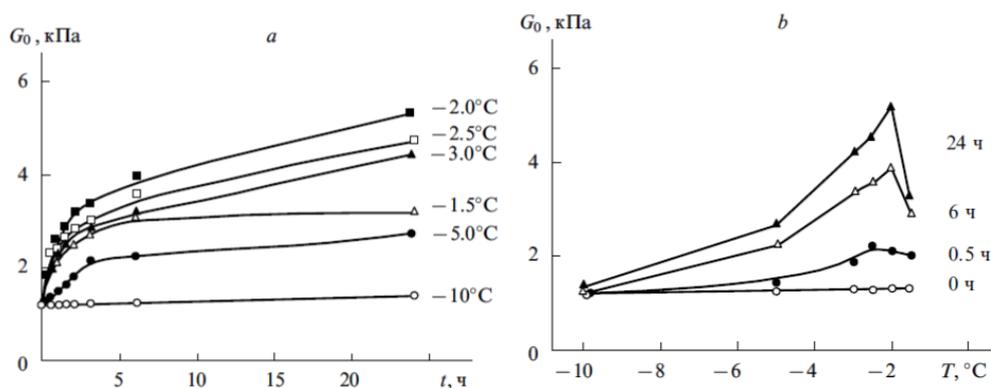


Рисунок 11 – Динамика образования криогелей ПВС при субнулевых температурах: а-изменение жесткости криогелей ПВС во времени; б-температурные зависимости жесткости препаратов, выдержанных в субнулевой области

Опыт. Сдвиговой модуль получаемых криогелей ПВС очень слабо нарастает при выдерживании образцов при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В области более высоких отрицательных температур гелеобразование существенно интенсифицируется. При этом наблюдаемая температурная зависимость не монотонна: в интервале $-2\div-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ процесс идет быстрее, чем при $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом температурная зависимость эффективности образования нековалентных криогелей ПВС при отрицательных температурах имеет *экстремальный характер*. [18]

Одним из интересных свойств *физических криоглей* является рост жесткости криогелей, как результат множества циклов «замораживание-оттаивание». Например, динамический модуль упругости криогеля ПВС, полученного из 15% го водного раствора полимера после четырех циклов криогенной обработки, на порядок больше, чем модуль упругости образца после одного цикла.

По всей этой информации можно судить, что свойства криогелей подвергаются изменению в широком диапазоне благодаря разным вариациям криотропного воздействия на систему «растворитель-ПВС».

Поэтому для увеличения надежности трубопровода, а конкретно «*Силы Сибири*», проложенного в многолетнемерзлых грунтах предлагается использование криогеля на основе ПВС против термокарстов и просадок трубопровода.

Предполагается разбрызгивание раствора ПВС, с необходимой концентрацией, перед наступлением отрицательных температур грунтов. В дальнейшем, при замерзании системы образуется НЖМФ, а в ней сконцентрируются полимеры ПВС и образуют полимерную сетку. При наступлении положительных температур порогины внутри пор геля растворятся и образуется композитный криогель.

					Обзор литературы	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.Методика испытания образцов

2.1.Определение деформационных свойств методом релаксации напряжений

Согласно СТО 60284311-005-2015, испытание грунта на сжатие представляет из себя ступенчатую принудительную деформацию образца вплоть до установленной стадии деформации, в последующем образцы испытывают релаксацию – последовательное снижение нагрузки. В таком режиме скорость фильтрующей консолидации будет существенно выше, нежели при традиционном испытании образца. Стабилизация напряженно-деформированного состояния (НДС) образца также будет происходить значительно быстрее.

Методика релаксации напряжений при испытании был опробован на различных типах грунтов. Испытание методики было проведено в таких организациях, как НИИОСП, МГУ, Краснодар ТИСИЗ и так далее. Достоверность результатов этих испытаний была оценена, как высокая. Благодаря упругим свойствам системы измерений и нагрузки происходит релаксация нагрузки, которая, в свою очередь, продлевает время проведения испытания. В целях ускорения проведения испытания была создана возможность ручного сброса нагрузки на образец во время релаксации.

Автоматический компрессионный релаксометр (АКР-2) специально исполнен в виде автономного настольного устройства, вследствие этого у прибора низкая чувствительность относительно к динамическому воздействию, также прибор устойчив к наклону опорной поверхности в зоне установки оборудования. Аппарат обладает простотой в применении прибора, также прибор проводит испытание в автоматическом режиме – в конце испытания образца результаты испытания выдаются на принтер, оформляются в табличной

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Методика испытания образцов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					45	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ зр.2БМ81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

и графической форме. Программа обеспечивает отслеживание процесса эксперимента, представление результатов испытания в виде таблиц на дисплее ЭВМ, в то же время прибор сохраняет полученные данные хранилище данных.

Аппарат должен иметь конструкцию обеспечивающую подвод к низу образца воды и его сброс, герметизацию всех деталей прибора, центрирование давления подаваемой на штамп, деформация образца под принудительной нагрузкой на каждой ступени испытания, измерение вертикальной нагрузки с погрешностью не более $\pm 0,001$ МПа, измерение вертикальной деформации с погрешностью не более $\pm 0,01$ мм, снятие вертикальной нагрузки во время релаксации нагрузки, нагрузку на начальном этапе на образец создаваемую весом штампа и закрепленными на нем датчиками (не более 0,0025 МПа), сток отжатой воды из образца сквозь матрицы имеющие определенную пористость.

Жесткость системы измерения и нагрузки определяет продолжительность процесса релаксации - чем выше жесткость, тем быстрее проходит испытание. Однако при выборе конструкции устройства измерения нагрузки должны соблюдаться требования к точности измерений. Рекомендуемое значение коэффициента жесткости системы измерения нагрузки составляет не менее $4 \cdot 10^7$ Н / м.

Механизм нагружения на образец установлен на основании, которое соединено с опорной плитой с помощью болтов. В свою очередь, опорная плита присоединена к опорным стойкам. Надо отметить, что все они составляют упорную конструкцию. Механизм нагружения также имеет свой двигатель в задней части прибора, который приводит в движение через червячный редуктор этот механизм. Для измерения вертикальной нагрузки в аппарате предусмотрен специальный винтовой домкрат, который имеет жестко соединенный со всей конструкцией верхний конец. Домкрат выполнен из двух стержней и двумя балками в форме рамы, верхняя балка из этих двух балок является динамометрической. В поперечном сечении верхняя балка выполнена в виде горизонтального двутавра, которая имеет полки на которых размещены тензодатчики. На стенке этой балки установлена сферическая опорная часть для

					<i>Методика испытания образцов</i>	<i>Лист</i>
						46
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

восприятия усилий, которая имеет контакт с переходным элементом. А вот для регистрации перемещений заданных заранее используются специальный датчик комплектуемый установленной на опорной плите реперной стойкой, тензосопротивлением и чувствительным элементом. В аппарате предусмотрено взаимодействие чувствительного элемента и переходного элемента. Образец испытываемого грунта устанавливают внутрь одометра, который, в свою очередь, установлен на одной оси с силоизмерительной рамой на опорной плите. Одометр фиксируется благодаря наличию шариковых подшипников и упоров.

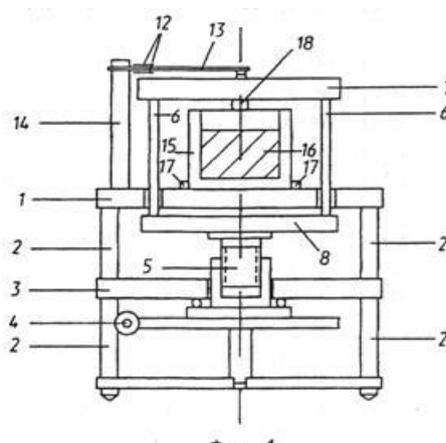


Рисунок 14 – Компоновка автоматического компрессионного релаксометра (АКР-2): 1 – несущая плита; 2 – опорные стойки; 3 – основание; 4 – червячный редуктор; 5 – винтовой домкрат; 6 – продольные тяги; 7 – верхняя поперечная балка (динамометрическая); 8 – нижняя поперечная балка; 9 – тензометрические датчики; 10 – опорная часть для восприятия усилия; 11 – переходной элемент; 12 – датчик тензосопротивлений; 13 – чувствительный элемент; 14 – реперная стойка; 15 – одометр; 16 – проба грунта; 17 – фиксирующие упоры; 18 – шаровые подшипники

Релаксометры калибруют на сжатие при указанных нагрузках в соответствии с ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Перед началом эксплуатации прибор должен быть откалиброван тензодатчиками. В целях вычисления жесткости упорных деталей самого аппарата проводят испытание почти несжимаемой болванки из стали фильтрами, помещая ее внутрь одометра

вместо образца грунта. Болванку ступенчато подвергают нагружению и на основании полученных данных строят график зависимости величину самодетформации от значений ступенчатой нагрузки. Этот график послужит для вычисления отрицательных поправок и условного критерия стабилизации во времени для релаксируемых испытательных нагрузок.

В течение калибровки аппарата устанавливается максимальное давление обосновывая выбор давления конструкцией прибора и пределом нагрузки испытания. Однако, максимальное давление не должно быть меньше 1 МПа, а шаг повышения испытательной нагрузки должен быть равен 50 кПа на первых двух шагах, а далее шаг должен быть равен 100 кПа с выдержкой равной 120 секунд.

Перед началом работы, включив реверсивное вращение двигателя червячного редуктора, рама измерения силы встает в крайнюю верхнюю позицию. Внутри одометра помещают образец для испытания затем на одометр, который зафиксирован на опорной плите, ставят сферическую опору. Во время всего этого должно обеспечиваться одноосность оси одометра и оси силоизмерительной рамы. Затем задается момент контактирования верхней балки с сферической опорой. Это необходимо проводить во время запуска двигателя приводящего в движение червячного редуктора. Заданный момент устанавливают путем достижения начальной нагрузки равной 5 кПа, которое принимается за начало отсчета нагрузок и деформаций. В дальнейшем испытание проходит ступенчатым нарастанием деформаций образца. При этом должны выполняются требования по нахождению и корректировке экспериментальных точек (суммарное количество экспериментальных точек должно быть определенным на всем протяжении диапазона нагрузок, контрольные точки графика «вертикальное давление – деформация образца» должны располагаться почти идентично).

До того как релаксируемые нагрузки не стабилизируются, каждая ступень нагружения, которую фиксирует соответствующая ступень деформации, должна удерживаться того времени. Значение этого параметра испытания

					<i>Методика испытания образцов</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

имеет определенную зависимость от типа образца грунта и жесткости конструкции аппарата. В состав жесткости также входит жесткость наиболее подверженной деформации балки. Надо отметить, что условный критерий стабилизации и вместе с тем скорость испытания прямопропорционально зависят от жесткости конструкции прибора.

В месте крепления тензодатчиков, при предложенной схеме устройства верхней балки, будет концентрировать полезный сигнал. Благодаря расположению на стенке двутавра опорной части устройства, вдоль вертикальной оси устройства будут распределяться внутренние напряжения верхней балки. Для максимального нагружения образца испытания с давлением равным 1 МПа собственная деформация будет составлять 0,0057 мм.

Если сравнивать с пружинным динамометром ДОСМ-3-1 у которого грузоподъемность 10000 Н, то получившаяся деформация самого устройства будет составлять 0,734 мм, что в 13 крат выше чем у АКР-2. Это, в свою очередь, ускоряет достижение условного критерия стабилизации.

Согласно таблице 1 можно выбрать значения ступеней деформации, в зависимости от коэффициентов пористости песчаных грунтов. Для глинистых грунтов относящихся к четвертичным отложениям согласно таблице 2. А по отношению к этим же грунтам, но первичного отложения рекомендуется таблица 3.

Таблица 1 – Рекомендации для песчаных грунтов в плане выбора значений ступеней деформирования, n_i , мм

Наименование песчаного грунта	Коэффициент пористости, е. ед.			
	0,45	0,55	0,65	0,75
Пески гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие	0,10	0,15	0,15	0,20
Пески пылеватые	0,15	0,20	0,30	0,35

Таблица 2 – Рекомендации для глинистых грунтов четвертичных отложений при выборе значения ступеней деформирования, n_i , мм

Грунты	коэффициент пористости, е. ед.							
	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	0,10	0,20	0,25	0,40	0,60	1,0	–	–
Суглинки	0,10	0,20	0,25	0,35	0,40	0,50	0,80	1,0
Глины	–	–	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,70

Таблица 3 – Рекомендации для глинистых грунтов коренных отложений при выборе значений ступеней деформирования, n_i , мм

Пределы нормативных значений показателей текучести	Коэффициент пористости, е. ед.						
	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4
$-0,25 \leq I_L \leq 0$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10
$0 \leq I_L \leq 0,75$	0,25	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45

Все значения ступеней деформации из таблиц приведены для испытываемых образцов грунта имеющих высоту равную 0,2 метра. Для образцов с другим значениями высоты возможен пересчет значений ступеней деформирования с сохранением относительной деформации.

При рассмотрении других условий строительства, условий заполнения и свойств деформируемости грунта можно провести обоснование значение других ступеней деформации.

При попадании значения коэффициента пористости в промежуток значение ступени деформации выбирается по ближайшему коэффициенту деформации из таблицы.

Первая фиксация вертикальной нагрузки и деформации образца происходит сразу по достижении заданного смещения после деформации образца с помощью заданной ступени во время релаксации, затем фиксируют данные через 60, 120, 300, 600 и 1200 секунд и так далее с удвоением перерыва вплоть до стабилизации нагрузки. В этом случае после каждого снятия показаний происходит расчёт скорости изменения нагрузки v .

Следует отметить, что перерывы между снятиями показаний можно урезать при приближении к условной стабилизации, в целях ускорения фиксирования момента стабилизации нагрузок.

v_s обозначает скорость условной стабилизации нагрузок в отношении разных типов грунтов. В таблице указаны значения скорости изменения нагрузок свойственных окончанию фазы релаксации.

Таблица 4 – Значения скоростей условной стабилизации напряжений соответствующие разным типам грунтов

Грунты	Скорость условной стабилизации напряжений, V_s МПа/мин
Пески	0,07
Глинистые грунты:	
супеси	0,002
суглинки с $I_p < 12\%$	0,001
суглинки с $I_p \geq 12\%$	0,0005
глины с $I_p < 22\%$	0,0005
глины с $I_p \geq 22\%$	0,0003

Для своевременной регистрации момента стабилизации напряжения с приближением вычисленной скорости изменения напряжения к скорости условной стабилизации интервалы снятия отсчетов могут быть сокращены до 5 минут. Затем испытательный образец поочередно деформируется на следующих ступенях, пока не будет достигнута требуемая стабилизированная нагрузка.

Чтобы ускорить процесс уплотнения (сжатия) образца во время процесса релаксации, разрешается периодически разряжать вертикальную нагрузку на половину величины изменения напряжения, записанного в предыдущем интервале считывания. Концом уплотнения на этой ступени является достижение скорости условной стабилизации напряжения – v_s .

Согласно специальному заданию, чтобы определить модуль деформации на ветви перегрузки, образец почвы может быть разгружен, а затем снова нагружен.

Разгрузка должна осуществляться путем понижения напряжения с шагом не более четверти от достигнутого уровня давления.

Последний этап разгрузки и начало повторной нагрузки определяются заданием.

Повторная нагрузка также выполняется в режиме предустановленных перемещений. Размер ступеней перемещения при повторной нагрузке составляет не более 1/4 величины деформации разуплотнения при разгрузке.

Напряжение и деформация образца при разгрузке и повторной нагрузке регистрируются через промежутки времени, указанные в таблице 4, и скорость условной стабилизации напряжения считается такой же, как для основной стадии нагружения.

По окончании испытания необходимо удалить воду с верхней части образца и из поддона, снять нагрузку, взвесить рабочее кольцо с почвой, предварительно сняв фильтры, определить влажность и массу сухой почвы.

Разрешается взвешивать рабочее кольцо с грунтом, не снимая фильтры, при условии, что перед началом испытания рабочее кольцо с грунтом будет взвешено с установленными фильтрами.

2.2.Определение прочностных свойств грунтов путем испытания на сдвиг

Чтобы определить прочностные характеристики грунта, а конкретно угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , проводят испытание грунта с помощью метода одноплоскостного среза. Этот метод подходит для глинистых грунтов, органико-минеральных грунтов и песков.

На приборах для одноплоскостного среза проводят испытание образцов грунта с целью получения информации о вышеупомянутых характеристиках образцов. Испытание проводят путем среза одной части образца грунта относительно другой части образца в горизонтальной плоскости нагрузкой направленной по этой плоскости, при этом плоскость среза заранее фиксируется. Предварительно, до горизонтального среза необходимо приложить на образец нагрузку по вертикальной плоскости. Специально для глинистых грунтов может быть предложен срез образца грунта по заранее сформированной плоскости (плашка по плашке), определяющий остаточные характеристики образцов грунта φ_r и c_r .

Грунт, выдавленный в зазор находящийся между неподвижной и подвижной частью срезной коробки, нельзя подвергать испытаниям. При определении сопротивления образца грунта необходимо провести срез образца по фиксированной плоскости заданным нормальным напряжением и зафиксировать среднее предельное касательное напряжение при котором

					Методика испытания образцов	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

проведен срез. С целью определения частных значений угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c проводят не меньше 3-х испытаний над одинаковыми образцами грунта изменяя с каждым разом значение нормального напряжения.

В испытании применяются образцы имеющие ненарушенную структуру и естественную влажность грунта (или водонасыщенные). Либо применяют образцы с нарушенной структурой с установленными показателями плотности и влажности или грунты отобранные в зоне искусственно уплотненных грунтов. Просадочные грунты испытывают при водонасыщенном состоянии, а набухающие при естественной влажности.

При необходимости сопротивление срезу возможно определить путем В необходимых случаях сопротивление срезу может определяться: для просадочного грунта при природной влажности или влажности на границе раскатывания, если последняя превышает природную; для засоленного – на образцах предварительно выщелоченного грунта после стабилизации суффозионной осадки при заданном нормальном давлении; для набухающих грунтов – в условиях полного водонасыщения после стабилизации свободного набухания или набухания (уплотнения) при заданном нормальном давлении; для насыпных грунтов – при их максимальной, требуемой или достигаемой плотности.

Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром не менее 70 мм и высотой от 1/3 до 1/2 диаметра. Максимальный размер фракции грунта (включений, агрегатов) в образце должен быть не более 1/5 высоты образца.

					<i>Методика испытания образцов</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

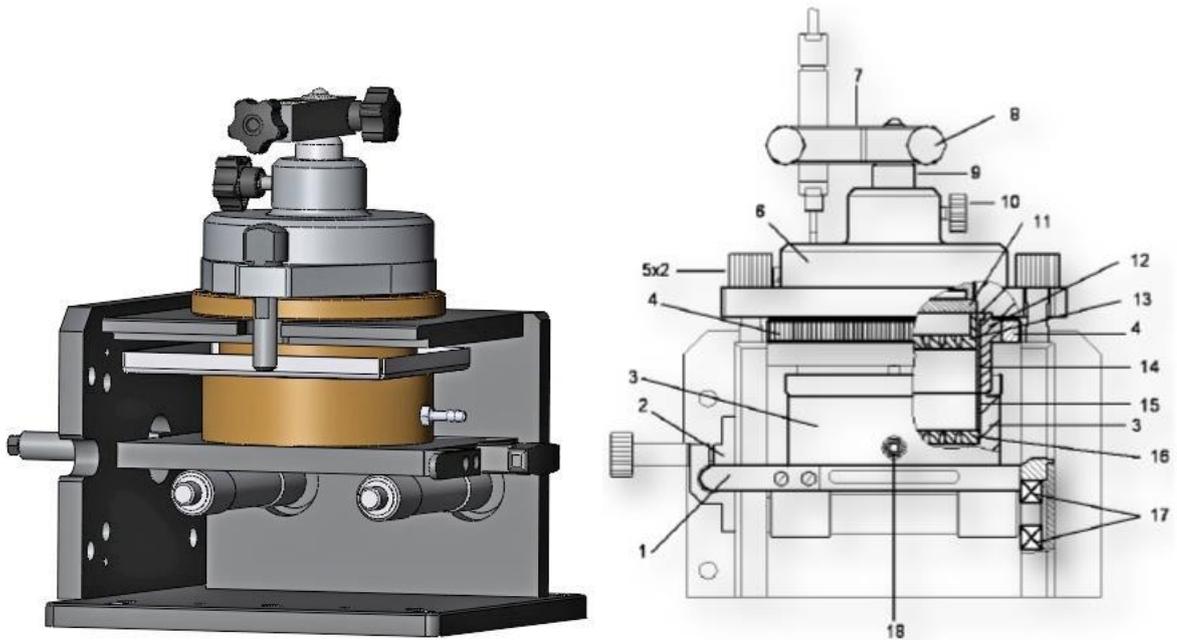


Рисунок 15 – Устройство одноплоскостного среза:

1 – планка; 2 – хомут; 3 – каретка; 4 – гайка регулировочная; 5 – гайка; 6 – крышка; 7 – кронштейн; 8, 10 – винт; 9 – шток; 11 – поршень; 12 – кольцо; 13, 16 – вкладыши перфорированный; 14 – большое срезное кольцо; 15 – малое срезное кольцо; 17 – подшипник – 4 шт.; 18 – ниппель.

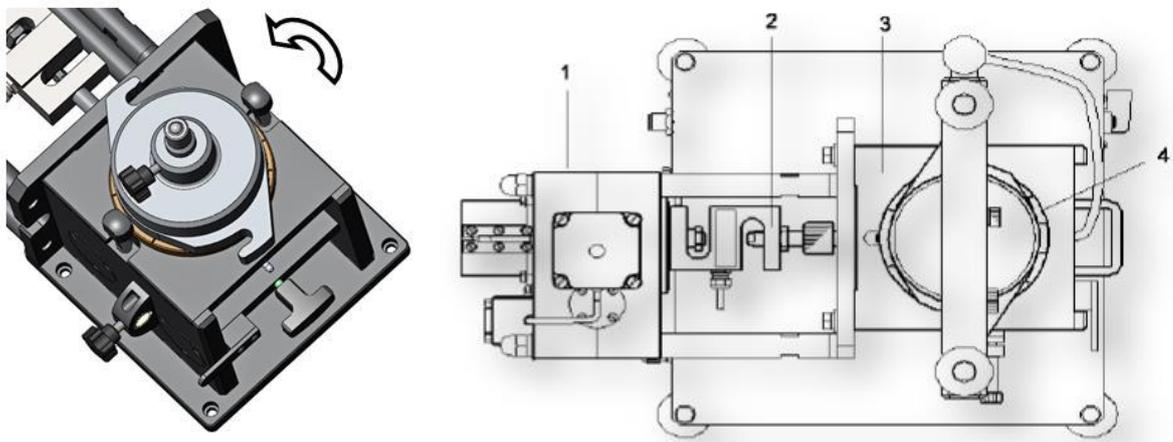


Рисунок 16 – Устройство одноплоскостного среза:

1 – механизм создания касательной нагрузки; 2 – датчик силы; 3 – срезная коробка; 4 – кольцо.

Конструкция срезного прибора должна обеспечивать первоначальное вертикальное давление на образец (от веса штампа и измерительных приборов на нем) не более 0,025 МПа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При тарировке срезной коробки в соответствии с паспортом на прибор устанавливают поправки на преодоление трения подвижной части срезной коробки. При необходимости предварительного уплотнения образца могут применяться уплотнители, позволяющие проводить уплотнение при заданном давлении и сохранении природной или заданной влажности, а также в условиях полного водонасыщения.

В состав уплотнителя должны входить следующие основные узлы: цилиндрическая обойма, в которую помещается рабочее кольцо с образцом; жесткий перфорированный штамп; механизм для вертикального нагружения образца; ванна для водонасыщения образца; гидроизолирующие элементы; устройство для измерения вертикальных деформаций образца.

Изготовленный образец взвешивают и в зависимости от схемы испытания приступают или к его предварительному уплотнению (консолидировано-дренированный срез), или сразу к испытанию на срез (неконсолидированный быстрый срез).

Для испытаний образца грунта в условиях полного водонасыщения необходимо предварительно замочить образец, заполнив ванну уплотнителя водой. Время насыщения образцов водой должно быть не менее:

- для песков – 10 мин;
- для глинистых грунтов, в том числе для просадочных: при $I_p < 7\%$ – 3 ч, при $I_p < 12\%$ – 6 ч, при $I_p < 22\%$ – 12 ч и при $I_p \geq 22\%$ и органоминеральных грунтов – 36 ч;
- для набухающих грунтов – до достижения условной стабилизации деформации набухания – 0,1 мм за 24 ч.

По окончании водонасыщения регистрируют вертикальные деформации образцов.

Проведение неконсолидированного (быстрого среза). Рабочее кольцо с образцом грунта помещают в срезную коробку, устанавливают сплошной штамп, производят регулировку механизма нагрузки, устанавливают зазор между подвижной и неподвижной частями срезной коробки, устанавливают

					Методика испытания образцов	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

устройство для измерения деформации среза и записывают начальное показание.

На образец грунта передают в одну ступень нормальное давление p , при котором будет производиться срез образца. Значение максимального нормального давления p_{max} необходимо назначать в зависимости от предполагаемого напряженного состояния грунтового массива (с учетом передаваемых на основание нагрузок и бытового давления). Значения нормальных давлений p_{min} и p_i , при которых определяют сопротивление срезу τ , назначают как часть от p_{max} . При отсутствии указанных данных значения p принимают по таблице 5.

Таблица 5 – Значения нормальных давлений

Глинистые и органоминеральные грунты с показателем текучести:	p , МПа
$0,5 \leq I_L < 1,0$	0,05; 0,1; 0,15
$I_L \geq 1,0$	0,025; 0,075; 0,125

Если при каком-либо давлении происходит выдавливание грунта в зазор между подвижной и неподвижной частями срезной коробки, необходимо его уменьшить на 0,025–0,05 МПа.

Сразу после передачи нормальной нагрузки приводят в действие механизм создания горизонтальной нагрузки и производят срез образца не более чем за 2 мин с момента приложения нормальной нагрузки.

При статическом режиме нагружения ступени горизонтальной нагрузки не должны превышать 10% значения нормального давления, при котором производится срез, и их приложение должно следовать через каждые 10–15 с.

При кинематическом режиме нагружения скорость среза принимают в интервале 2–3 мм/мин так, чтобы срез проходил не более чем за 2 мин.

Испытание следует считать законченным, если при приложении очередной ступени срезающей нагрузки происходит мгновенный срез (срыв) одной части образца по отношению к другой или абсолютная деформация среза превысит 5 мм.

При проведении среза с постоянной скоростью за окончание испытаний принимают момент, когда срезающая нагрузка достигнет максимального

значения, после чего наблюдается некоторое ее снижение, или установление постоянного значения, или абсолютная деформация среза превысит 5 мм. После окончания испытания следует разгрузить образец, извлечь рабочее кольцо с образцом из прибора и отобрать пробы для определения влажности из средней части образца.

По измеренным в процессе испытания значениям горизонтальной срезающей и нормальной нагрузок вычисляют касательные и нормальные напряжения τ и σ , МПа, по формулам:

$$\tau = 10 \frac{Q}{A} \quad \sigma = 10 \frac{P}{A}$$

где Q и P – соответственно горизонтальная срезающая и нормальная сила к плоскости среза, кН; A – площадь среза, см².

Определение τ необходимо проводить не менее чем при трех различных значениях p . Из каждого значения τ вычитают поправку на преодоление трения подвижной части срезной коробки по заранее построенной тарировочной кривой. При автоматизации хода испытаний в полученную диаграмму среза также вносят поправку на трение в приборе.

По измеренным в процессе испытания значениям деформаций среза l , соответствующим различным напряжениям τ , строят графики зависимости $\tau = f(l)$.

За предельное сопротивление грунта срезу принимают максимальное значение τ , полученное по графику $l = f(\tau)$, не превышающем 5 мм (или 10 % относительной деформации образца).

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c определяют как параметры линейной зависимости

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c$$

					Методика испытания образцов	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

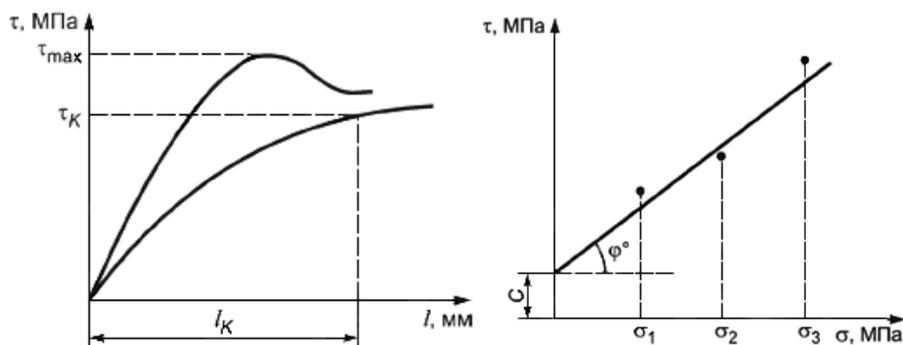


Рисунок 17 – Образец графического оформления результатов испытания грунта методом одноплоскостного среза

При проведении среза "плашка по плашке" зависимость записывают в виде

$$\tau_r = \sigma \operatorname{tg} \varphi_r + c_r$$

где τ_r – остаточная прочность; φ_r и c_r – характеристики остаточной прочности.

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , МПа, определяют по графику $\tau = f(\sigma)$, проводя прямую наилучшего приближения к экспериментальным точкам вычисляют по формулам, полученным обработкой экспериментальных точек $\tau = f(\sigma)$ методом наименьших квадратов:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \sum \tau_i \sigma_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}; \quad c = \frac{\sum \tau_i \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \sum \tau_i \sigma_i}{n \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}$$

где τ_i – опытные значения сопротивления срезу, определенные при различных значениях σ_i и относящиеся к отдельному монолиту грунта (при $n \geq 3$) или одному инженерно-геологическому элементу; n – число испытаний.

2.3. Определение влажности грунта засухкой до постоянной массы

Определение влажности грунта проводят путем вычисления отношения масс воды испарившейся из грунта при сушке к массе самого высушенного грунта (до постоянной массы).

При проведении определения влажности исследователю понадобится весы, металлические бюксы, шпатель и сушильная печь (шкаф).

Проба грунта для проведения исследования влажности грунта должна иметь массу равную 15-50 граммам. После отбора пробы грунта его помещают в специальный бюкс, который перед этим высушили, взвесили и

пронумеровали. Проба грунта должна иметь нарушенную структуру, а для распределения влажности по всей массе пробы необходимо перемешать ее. Перед загрузкой бюкса с пробой в сушильную печь (шкаф) необходимо убрать все видимые включения.

Также перед загрузкой надо взвесить бюкс с пробой. Только затем бюкс с пробой грунта помещают в сушильную печь. Засушку грунта проводят до достижения постоянной массы при температуре равной 105°C с разбросом в 2 °С. Песчаные грунты высушивают в течение 3 ч, а остальные – в течение 5 ч. Последующие высушивания песчаных грунтов производят в течение 1 ч, остальных – в течение 2 ч. Последующие высушивания производят в течение 2 ч.

После каждого высушивания грунт в бюксе охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием до комнатной температуры, а затем взвешивают на весах. Высушивание производят до получения разности массы грунта при двух последующих взвешиваниях не более 0,02 г.

Влажность грунта w , %, вычисляют по формуле:

$$w = 100(m_1 - m_0) / (m_0 - m)$$

где m – масса пустого бюкса, г; m_1 – масса влажного грунта с бюксом и крышкой, г; m_0 – масса высушенного грунта с бюксом, г.

2.4. Определение плотности грунта

Необходимое оборудование для исследования плотности грунта: кольцо-пробоотборник; кольцо-насадка; лабораторные весы; штангенциркуль, нож; винтовой пресс; пластинки с гладкой поверхностью (из стекла, металла и т.д.); плоская лопатка; вазелин или консистентная смазка.

Кольца-пробоотборники изготавливают из стали с антикоррозионным покрытием или из других материалов, не уступающих по твердости и коррозионной стойкости. Кольца нумеруют, измеряют внутренний диаметр и высоту с погрешностью не более 0,1 мм и взвешивают. По результатам измерений вычисляют объем кольца с точностью до 0,1 см³. Пластинки с гладкой поверхностью нумеруют и взвешивают.

					Методика испытания образцов	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Кольцо-пробоотборник смазать с внутренней стороны тонким слоем вазелина или консистентной смазки. Верхнюю зачищенную плоскость образца грунта выровнять, срезая излишки грунта ножом, установить на ней режущий край кольца и винтовым прессом или вручную через насадку слегка вдавить кольцо в грунт, фиксируя границу образца для испытаний. Затем грунт снаружи кольца обрезать на глубину 5–10 мм ниже режущего края кольца, формируя столбик диаметром на 1–2 мм больше наружного диаметра кольца. Периодически, по мере срезания грунта, легким нажимом пресса или насадки насаживать кольцо на столбик грунта, не допуская перекосов. После заполнения кольца грунт подрезать на 8–10 мм ниже режущего края кольца и отделить его. Грунт, выступающий за края кольца, срезать ножом, зачистить поверхность грунта вровень с краями кольца и закрыть торцы пластинками. При пластичном или сыпучем грунте кольцо плавно, без перекосов вдавить в него и удалить грунт вокруг кольца. Затем зачистить поверхность грунта, накрыть кольцо пластинкой и подхватить его снизу плоской лопаткой. Кольцо с грунтом и пластинками взвешивают. Плотность грунта определяется отношением массы образца грунта к его объему. Данную характеристику следует определять не менее чем для двух параллельных проб, отбираемых из исследуемого образца грунта. Плотность грунта ρ , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho = (m_1 - m_0 - m_2) / V,$$

где m_1 – масса грунта с кольцом и пластинками, г; m_0 – масса кольца, г; m_2 – масса пластинок, г; V – внутренний объем кольца, см³.

3. Испытание образцов

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Испытание образцов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					60	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр.25М81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

4. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопровода

Резко континентальный климат Республики Якутия (Саха) является причиной практически повсеместного распространения многолетнемерзлых грунтов. Он формируется благодаря низким температурам зимой и небольшой мощности снежного слоя. На этой территории в течение холодного времени года земля лишается значительного количества тепловой энергии и оказывается замершей на существенную глубину. В результате таких условий земля трансформируется в замершую глыбу земли. При наступлении теплого периода года замершая зимой земля не успевает в полностью растаять и потому отрицательные температура укореняются в недрах земли на протяжении тысяч лет.

Республиканский климат, в значительной степени, определяется географическим расположением в центре Севера Азии, расстоянием от морей с теплыми течениями и влиянием холодных течений Северного Ледовитого океана, а также давлением местных физических и географических факторов, в особенности рельефа.

Климат Республики Саха (Якутия) характеризуется особенностями свойственными резко континентальному климату: низкие зимние и высокие летние температуры воздуха.

На сегодняшний день вопрос строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов обретает большую значимость из-за реализации масштабного международного строительства магистрального газопровода «Сила Сибири». Надо отметить, что внушительная часть трубопровода проложена на территории многолетнемерзлых грунтов (Республика Саха (Якутия)).

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Исследование напряженно-деформированного состояния трубопровода</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					61	108
<i>Консульт.</i>						НИ ТПУ гр.25М81		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						

Опасные геологические процессы и явления на рассматриваемой территории характеризуются относительно высокой интенсивностью. Поэтому исследование НДС трубопровода в зоне распространения вечной мерзлоты является важной задачей.

В ходе выполнения исследования НДС трубопровода мной была создана ее конечно-элементная модель (Static Structural) в ANSYS 19.2 с соответствующими размерами и параметрами стали (K56). Также для модели трубы была создана конечно-элементная сетка с размером сеток 200 мм.

Для модели трубопровода были мной заданы граничные условия: труба была закреплена по торцам, наложено внутреннее давление, наложены нагрузка веса грунта и реакция опоры соответствующие проседанию на 400 мм. В итоге были получены визуальные отображения «Общей деформации» и «Эквивалентных напряжений по Мизесу».

Как видно, наибольшие деформации сконцентрированы на теле трубы в центральной части перегиба трубы. В местах закрепления трубопровода же почти не наблюдаются деформация.

Здесь мы можем видеть, как наибольшие напряжения сконцентрировались на торцах трубопровода, т.е. в местах закрепления. Большие напряжения также можно заметить на боковой части трубы и на остальной части тела трубы, вследствие давления веса грунта.

Можно сказать, что проблемой исследования, моделирования и прогнозирования напряженно-деформированного состояния магистральных трубопроводов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов активно занимаются. И на основании данных этих исследований создаются меры и технологии предотвращающие повреждение трубопровода, а также выбираются наиболее экономичные и экологичные методы прокладки трубопроводов. Также исследователи активно дают рекомендации для строительства и эксплуатации МТ в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов.

В результате исследования были получены данные указывающие, что при проседании трубопровода диаметром 820x14 мм с внутренним давлением 2.5

					Исследование напряженно-деформированного состояния	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

МПа образуются концентраторы напряжений в местах закрепления трубопровода (79,6 МПа) и образуются перегибы трубопровода, с максимальными деформациями в середине провисающего трубопровода (1,03 мм). При низких давлениях перекачиваемого продукта и относительно малых смещениях оси трубы угроза разрушения трубопровода отсутствует (временное сопротивление разрыву – 550 МПа не превышено). Появление пластической деформации также отсутствует (предел текучести – 390 МПа не превышен), упругие деформации при снятии нагрузки исчезнут.

Однако при высоких давлениях перекачки при просадке трубопровода вероятность разрыва трубы, образования гофр, образования трещин и других дефектов довольно высока. Для предотвращения просадок трубопровода необходимо снижать тепловое воздействие трубопровода на грунт, препятствовать разрушению растительного покрова, и т.д.

					<i>Исследование напряженно-деформированного состояния</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1. Введение

Многолетнемерзлые грунты (ММГ) широко распространены на Севере России. Наиболее широко она распространена в Восточной Сибири и Забайкалье. Самый глубокий предел вечной мерзлоты отмечается в верховьях реки Вилюй в Якутии. В зоне распространения многолетнемерзлых грунтов увеличивается риск аварий и отказов при эксплуатации магистральных газопроводов – это большая проблема в области обеспечения надёжности и безопасности трубопроводного транспорта. Аварии газопроводов на территории распространения многолетнемерзлых пород характеризуется значительными экономическими и экологическими потерями.

Вследствие этого в данной исследовательской работе была исследована перспективность использования криогелей в целях сокращения колебаний высотных положений магистральных трубопроводов в ММГ, что приведет к снижению количества аварий и отказов. Сокращение аварий и отказов благоприятно повлияет на экологию и снизит расходы на капитальные ремонты трубопроводов.

В качестве объекта анализа был взят капитальный ремонт трубопровода с деформацией геометрии трубы, появившейся вследствие просадок талого грунта, на участке распространения ММГ. Во время проведения работ будет применен криогель на основе поливинилового спирта (ПВС) для стабилизации основания трубопровода и снижения вероятности аварий.

5.2. Расчет нормативной продолжительности выполнения работ

Для определения нормативной продолжительности работ оцениваются отдельные работы составляющие производственный процесс.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
Разраб.		Васильев Е.П.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Бирков П.В.					64	108
Консульт.		Романюк В.Б.						
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						
						НИ ТПУ зр.2БМ81		

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

Таблица 7 – Нормы времени выполнения технологических операций

Наименование работ	Ед. измерения	Объем работ	Продолжительность работ, часов	Состав бригады
Первый этап работы				
Уточнение положения трубопровода			2	4 чел.
Снятие плодородного слоя почвы, перемещение его во временный отвал	м ³	18	2	6 чел.
Разработка совмещенной траншеи	м ³	80	10	6 чел.
Планировка отвала грунта со стороны движения ремонтно-строительной колонны			1	2 чел.
Сварка одиночных труб в секции на трубосварочной базе	шт.	4	12	4 чел.
Вывоз секций труб на трассу и раскладка их на бровке траншеи	шт.	3	10	6 чел.
Сварка секций труб в нитку	шт.	2	6	4 чел.
Очистка, нанесение изоляционного покрытия	м ²	22	8	6 чел.
Укладка трубопровода в траншею	шт.	2	4	6 чел.
Частичная засыпка уложенного трубопровода грунтом	м ³	8	1	6 чел.
Очистка внутренней полости трубопровода	м ²	22	4	6 чел.
Испытание на прочность и герметичность			12	6 чел.
Подключение электрохимзащиты	шт.	3	3	6 чел.
Отключение заменяемого и подключение нового участка к действующему нефтепроводу	шт.	4	12	6 чел.
Введение в грунт поливинилового спирта	кг	54	2	2 чел.
Второй этап работы				
Опорожнение, промывка заменяемого трубопровода	м ²	22	3	6 чел.
Подъем, очистка от старого изоляционного покрытия и укладка трубопровода на бровку траншеи			6	6 чел.
Резка трубопровода на части	шт.	4	3	6 чел.
Транспортирование труб к месту складирования	шт.	3	4	6 чел.
Засыпка траншеи минеральным грунтом	м ³	12	5	6 чел.
Техническая рекультивация плодородного слоя почвы	м ²	50	4	6 чел.
Итого продолжительность работ			114	

Для иллюстрации календарного плана проекта приведена диаграмма Ганта, которая показывает работы по этапам протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 8 – Линейный календарный график ремонта трубопровода

Наименование операции	смены	Дни											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
подготовительные	1												
земляные	3												
монтажные	6												
заключительные	1												

5.3. Расчет сметной стоимости работ

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

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- страховые взносы;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

1. К материальным расходам относятся затраты на приобретение:

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

техобслуживание основных фондов, средств связи, компьютерной техники и др.);

- на содержание и эксплуатацию природоохранных сооружений.

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

К материальным расходам приравниваются:

- расходы на рекультивацию земель и другие природоохранные потери при транспортировке товароматериальных ценностей в пределах норм естественной убыли;

- технологические потери при производстве и (или) транспортировке.

2. К расходам на оплату труда относятся:

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

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

- Прочие расходы.

1. К материальным расходам относятся затраты на приобретение:

- сырья, основных и вспомогательных материалов, используемых в производственном процессе;

- запасных частей, комплектующих изделий, тары и др.;

- топлива, воды и энергии всех видов, используемых на производственные нужды и отопление;

- работ и услуг производственного характера, выполняемых сторонними организациями или индивидуальными предпринимателями, а также собственными структурными подразделениями предприятия (организации) (транспортные услуги, контроль за соблюдением технологического процесса,

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

техобслуживание основных фондов, средств связи, компьютерной техники и др.);

- на содержание и эксплуатацию природоохранных сооружений.

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

К материальным расходам приравниваются:

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

2. К расходам на оплату труда относятся:

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

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

- командировочные расходы;

- расходы по подготовке и переподготовке кадров и др.

Кроме перечисленных затрат в составе затрат на проведение организационно-технического мероприятия учитываются накладные расходы, связанные с организацией, управлением и обслуживанием производства.

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия.

Согласно плану проведения работ определяем затраты на материалы.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Таблица 9 – Расчет стоимости материалов на проведение работ

Наименование материала	Количество	Цена за единицу, тыс. руб.	Стоимость материалов, тыс. руб.
Труба стальная Ду1220	6 шт.	10,2	61,2
Электроды	50 кг	0,02	1
Термоусаживающаяся манжета	6 шт.	1,2	7,2
Транспортные расходы			0,41
Поливиниловый спирт	54 кг	0,75	40,5
Итого			110,31

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

Таблица 10 – Расчет заработной платы

Должность	Количество	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Заработная плата с учетом надбавок, тыс. руб.
Машинист трубоукладчика	6	6	166,6	108	140,34
Машинист экскаватора	2	6	176,1	108	61,46
Машинист бульдозера	3	6	153,4	108	92,19
Машинист сварочного агрегата	4	6	155,5	84	74,36
Электросварщик	5	6	177,7	120	189,7
Линейный трубопроводчик	6	6	124,8	120	227,64
Машинист ДЭС	1	5	122,2	84	17,4
Машинист наполнительного агрегата	2	6	155,5	84	37,18
Сварщик-газорезчик	2	6	154,6	120	53,11
Итого					893,38

Страховые взносы определяются суммой единого социального налога по установленным законодательством нормам в процентах от расходов на оплату труда (30 %). В данном случае они составляют 155,37 тыс. руб. Надбавки вахтовых работников не облагаются НДФЛ и страховыми взносами.

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и

утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Из годовой амортизации находим амортизацию за смену, а затем за данный цикл работ. Расчет амортизационных отчислений представлен далее.

Таблица 11 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Количество	Балансовая стоимость, тыс. руб.		Годовая норма амортизации, %	Сумма амортизации за цикл работ, тыс. руб.
		одного объекта	всего		
Трубоукладчик ЧТЗ ТР 20	6	6800	40800	20	44,7
Одноковшовый экскаватор Doosan DX 200A	2	9750	19500	20	21,4
Бульдозер ЧТЗ Б10М	3	3450	10350	20	11,3
УАСТ-1 установка для автоматической сварки	4	7000	28000	10	7,7
Оборудование подогрева стыка ПС	1	450	450	10	0,12
Внутренний центратор ЦВ	1	345	345	10	0,1
Очистная машина ОМ	1	7600	7600	20	8,3
Опрессовочный агрегат	1	600	600	10	0,16
Автомобиль Урал «Вахтовка»	4	3000	12000	20	46
Итого:					139,8

Накладные расходы – это дополнительные затраты, не относящиеся напрямую к основному производству, не входящие в оплату труда основного персонала и в стоимость сырья. Для предприятия такие затраты важны не меньше, чем прямые расходы, поскольку позволяют обеспечить работу всего предприятия. Далее представлен расчет накладных расходов в течение всего цикла работ.

Таблица 12 – Накладные расходы

Состав затрат	Сумма затрат, тыс. руб.	Процент накладных расходов, %	Сумма накладных расходов, тыс. руб.
Материальные затраты	110,31	10	11,03
Затраты на оплату труда	893,38	10	89,34
Страховые взносы	153,37	10	15,34
Амортизационные отчисления	139,8	10	13,98
Итого накладных расходов			129,69

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия и строится диаграмма сметной стоимости работ.

Таблица 13 – Смета затрат на ремонт

Состав затрат	Сумма затрат, тыс. руб.
Материальные затраты	110,31
Затраты на оплату труда	893,38
Страховые взносы	153,37
Амортизационные отчисления	139,8
Накладные расходы	129,69
Итого основные расходы	1426,55

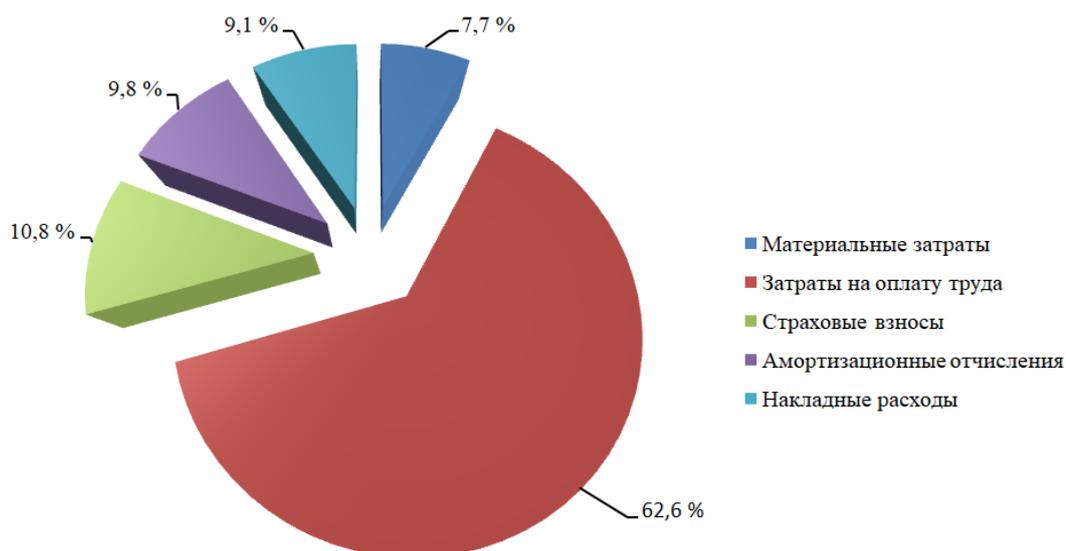


Рисунок 35 – График сметной стоимости выполнения цикла ремонтных работ

В данном разделе была представлена нормативная продолжительность цикла работ и линейный календарный график по ремонту трубопровода,

проведен расчет затрат на материалы, амортизационные отчисления и затраты на оплату труда специалистов и построена диаграмма сметной стоимости выполнения работ. В результате вычислений получили, что на проведение мероприятия по ремонту нефтепровода потребуется 1426550 рублей.

5.4. Обоснование эффективности

В России нефтегазовые компании много тратят на ремонт и эксплуатацию магистральных трубопроводов на ее территории. В частности, катализатором этих расходов является Крайний Север, покрытый многолетнемерзлыми грунтами. ММГ сами являются причиной изменений проектных положений трубопроводов и появления неравномерных нагрузок, так еще при глобальном повышении температуры они становятся еще более неустойчивыми. По оценкам Дмитрия Стрелецкого из географического факультета Университета Джорджа Вашингтона, 21 % механических повреждений трубопроводов Западной Сибири пострадали из-за воздействия ММГ.

А в 2017 году «Группой «Газпром» было оплачено Российской Федерации возмещение причиненного экологического вреда равное 91 млн. рублей. Возмещение вреда в основном произведено в результате инцидентов на трубопроводах Газпром нефти в 2017 году.

Выплата штрафов и возмещение причиненного экологического вреда Группой Газпром в Российской Федерации, млн руб.				
	2016	2017	2018	Изменение 2018/2017
Выплата штрафов	24	11	17	54,5 %
Возмещение причиненного экологического вреда	46	91	189	107,7 %
в т. ч. вреда, причиненного в предыдущие годы	30	90	177	96,7 %

Примечание. Без учета показателей организаций, инвестиции в которые классифицированы как совместные операции.

Рисунок 36 – Возмещение причиненного экологического вреда «Группой Газпром»

Таким образом, предполагаемая экономия в операционных расходах и возмещениях для Группы Газпром (экономический эффект), при применении криогелей, может составить 21% из 91 млн рублей (19, 11 млн. рублей).

Также предполагается улучшение экологической обстановки вследствие уменьшения инцидентов на линейной части трубопроводов, безвредности и экологичности криогеля.

6. Социальная ответственность

6.1. Введение

Многолетнемерзлые грунты широко распространены на Севере России. Наиболее широко она распространена в Восточной Сибири и Забайкалье. Самый глубокий предел вечной мерзлоты отмечается в верховьях реки Вилюй в Якутии. В зоне распространения многолетнемерзлых грунтов увеличивается риск аварий и отказов при эксплуатации магистральных газопроводов – это большая проблема в области обеспечения надёжности и безопасности трубопроводного транспорта. Аварии газопроводов на территории распространения многолетнемерзлых пород характеризуется значительными экономическими и экологическими потерями.

Многолетняя мерзлота весьма чувствительна к изменениям температурного режима: нарушение слабого поверхностного растительного слоя, например, гусеницами вездеходов или бульдозеров приводит к стремительному таянию мерзлоты, разрушению ее структуры и образованию огромных полей протаивания.

Вследствие этого в данной исследовательской работе была исследована перспективность использования криогелей в целях сокращения колебаний высотных положений магистральных трубопроводов в ММГ, что приведет к снижению количества аварий и отказов. Сокращение аварий и отказов благоприятно повлияет на экологию, атмосферу и на местное население.

В качестве объекта анализа была взята шурфовка для определения состояния и проведения ремонтных работ магистрального трубопровода ($D_H = 1400$ мм, $\delta = 17$ мм, $P_{\text{раб}} = 9,8$ МПа) на участке с проседанием трубопровода после вывода трубопровода в ремонт на территории Республики

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>		
Разраб.		Васильев Е.П.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Бирков П.В.				73	108
Консульт.		Черемискина М.С.			Социальная ответственность НИ ТПУ гр.25М81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					

Саха (Якутия) в теплый период года. Во время шурфовки будет распылен поливиниловый спирт для стабилизации трубопровода.

6.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.2.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

Реализация основных направлений государственной политики в области охраны труда обеспечивается согласованными действиями органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления, работодателей, объединений работодателей, а также профессиональных союзов, их объединений и иных уполномоченных работниками представительных органов по вопросам охраны труда.

Государственные гарантии и компенсации лицам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, устанавливаются Трудовым Кодексом Российской Федерации, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Дополнительные гарантии и компенсации указанным лицам могут устанавливаться законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления, коллективными договорами, соглашениями, локальными нормативными актами исходя из финансовых возможностей соответствующих субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и работодателей.

Оплата труда в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях осуществляется с применением районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате. Лицам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, выплачивается процентная надбавка к заработной плате за стаж работы в данных районах или местностях. Размер процентной надбавки к заработной плате и порядок ее выплаты устанавливаются в порядке, определяемом статьей 316 Трудового Кодекса РФ для установления размера районного коэффициента и порядка его применения.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						74
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Кроме установленных законодательством ежегодных основного оплачиваемого отпуска и дополнительных оплачиваемых отпусков, предоставляемых на общих основаниях, лицам, работающим в районах Крайнего Севера, предоставляются дополнительные оплачиваемые отпуска продолжительностью 24 календарных дня, а лицам, работающим в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, - 16 календарных дней.

Для женщин, работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, коллективным договором или трудовым договором устанавливается 36-часовая рабочая неделя, если меньшая продолжительность рабочей недели не предусмотрена для них федеральными законами. При этом заработная плата выплачивается в том же размере, что и при полной рабочей неделе.

6.2.2. Организационные мероприятия при шурфовке участка действующего газопровода

К выполнению работ по шурфовке участка действующих газопроводов допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр без противопоказаний к выполнению данных работ, имеющие профессиональные навыки, прошедшие: вводный инструктаж при приеме на работу; первичный инструктаж на рабочем месте; первичный инструктаж по пожарной безопасности на объектах ЛПУМГ; проверку знаний по электробезопасности и имеющий группу по электробезопасности соответствующую выполняемой работе; обучение безопасным методам труда; стажировку на рабочем месте; проверку знаний по охране труда, пожарной безопасности; обучение и проверку знаний, овладевшие приемами оказания первой помощи при несчастных случаях.

Все работники, занятые на работах по шурфовке участка газопровода, должны быть обеспечены спецодеждой: костюм термостойкий антистатический с маслостойкой пропиткой, плащ непромокаемый, ботинки или сапоги кожаные, рукавицы комбинированные или перчатки с защитным покрытием, очки защитные, каска защитная.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						75
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Работники обязаны немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья.

Для проведения работ по шурфовке определяется необходимость выполнения работ на каждом конкретном участке газопровода. Работы по шурфовке газопровода проводятся только в дневное время, в тёмное время в случае аварийной ситуации.

Работы по шурфовке на действующих газопроводах являются газоопасными и выполняются по наряду-допуску. В наряде-допуске указывается место работы, наименование работы, фамилии лиц ответственных за подготовку и проведение работы, мероприятия по безопасному выполнению работ, указывается СИЗ и режим работы, состав бригады с подписями о получении инструктажа.

Ответственный за проведение работ по шурфовке газопровода лично руководит ее проведением. Он несет ответственность за общую безопасность и дисциплину, качество и оперативность проведения работы в соответствии с нарядом допуском и производственными инструкциями.

Перед вскрытием участка с повреждённой изоляцией давление в газопроводе должно быть снижено не менее чем на 10% от величины максимального рабочего давления, зарегистрированного в течение последнего года эксплуатации.

До начала земляных работ на газопроводе определяется сам газопровод, его ось, уточняется глубина его залегания (при помощи прибора ИПИ-95), проводится замер загазованности в зоне работы и при не превышении нормы приступают к рытью приямка.

После окончания работ по наряду и приведения в порядок рабочего места ответственный руководитель работ расписывается в наряде об окончании работы и докладывает диспетчеру о полном окончании работ. Закрытие наряда оформляется записью в оперативном журнале.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						76
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 37 – Компоновка шурфа:

1, 2 и 3 дефекты трубы; L и B – размеры дефектов.

6.3. Производственная безопасность

Основными опасными и вредными производственными факторами, которые могут воздействовать на работника при выполнении данного вида работ представлены в следующей таблице.

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Подгот овитель ные работы	Провед ение работ	Заклуч ительн ые работы	
1. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твердых и сыпучих объектов на рабочего		+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [42]
2. Укусы насекомых или животных	+	+	+	ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования [44]
3. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения при аварийной ситуации в тёмное время суток	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[41]
4. Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу рабочего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; разрушающиеся конструкции; разгерметизация и взрыв технологического оборудования)	+	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [42]; ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования [43]
5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания, то есть с аномальным физическим состоянием воздуха (выделение в рабочую зону природного газа)	+	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [36]; ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [37]

6.4. Анализ опасных и вредных производственных факторов

6.4.1. Падение твердых и сыпучих объектов

Источником данного опасного фактора являются сила тяжести и работа внутри котлована. Стенки шурфа могут обвалиться на рабочего во время работы из-за недостаточного укрепления стенок. Инструменты, приборы и материалы, оставленные на бровке шурфа, могут выпасть и оказать травмирующее воздействие на работника.

Все перечисленные объекты воздействуют на работника травмирующим образом и могут вызвать тяжелые травмы. А в некоторых случаях могут вызвать удушение при засыпке рабочего.

Таблица 15 – Глубина выемки и крутизна откосов

Виды грунтов	Крутизна откоса (отношение к заложению) при глубине выемки, м не более		
	1,5	3	5
Насыпные не слежавшиеся	1:0,67	1:1	1:1,25
Песчаные	1:0,5	1:1	1:1
Супесь	1:0,25	1:0,67	1:0,85
Суглинок	1:0	1:0,5	1:0,75
Глина	1:0	1:0,25	1:0,5
Лессовые	1:0	1:0,5	1:0,5

Производство работ, связанных с нахождением работников в шурфах с откосами без креплений в насыпных, песчаных и пылевато-глинистых грунтах выше уровня грунтовых вод или грунтах, осушенных с помощью искусственного водопонижения, допускается при глубине выемки и крутизне откосов, указанных в следующей таблице.

Для борьбы с этим необходимо выдать рабочим каски, а также не нарушать требования по крутизне откосов и устанавливать на стенки котлована укрепления (шпунты). Также следует устанавливать алюминиевые лестницы, для эвакуации работников, количество лестниц выбирается в зависимости от условного диаметра трубопровода. Не следует оставлять инструменты, приборы и материалы на бровке котлована. Шурф должен иметь размеры позволяющие свободно работать в нём не менее 2-х человек, иметь 2 выхода (по одному с каждой стороны трубы при Ду до 800 мм) и 4 выхода (по два с каждой стороны трубы при Ду 800 и более мм).

6.4.2. Укусы насекомых или животных

Источником данного опасного фактора являются клещи, комары, мошки, слепни, собаки и так далее. Наиболее опасным из насекомых является клещ, переносящий клещевой вирусный энцефалит, моноцитарный эрлихиоз человека, гранулоцитарный анаплазмоз человека, инфекционный клещевой боррелиоз, туляремия, лихорадка Цуцугамуши. Остальные же могут вызвать сыпь, воспаление и аллергию. Из животных наиболее опасны для работника переносчики бешенства – собаки, лисы и кошки.

Для защиты работников от укусов насекомых им выдаются противомоскитные сетки на голову и репелленты против насекомых. Следует плотно прикрывать открытые участки тела спецодеждой. Также следует не приближаться к диким животным и домашним животным с симптомами бешенства.

6.4.3. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

При возникновении аварийных ситуаций работы в шурфе по ликвидации аварии могут проводиться в темное время суток, соответственно в это время суток естественное освещение отсутствует.

При таких условиях работники могут получить травмы во время ликвидации аварии, а также будет повышен риск выполнения неправильных технологических операций, что повлечет за собой снижение эффективности и усугублению ситуации. Все это вместе может привести к летальному исходу из-за ошибки в последовательности операций во время ликвидации аварийной ситуации.

При расстоянии от объекта различения до глаз работающего более 0,5 м разряд зрительных работ следует устанавливать с учетом углового размера объекта различения, определяемого отношением минимального размера объекта различения d к расстоянию от этого объекта до глаз работающего l .

$$\frac{d}{l} = \frac{0,002\text{м}}{0,2\text{м}} = 0,01$$

					Социальная ответственность	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Освещенность рабочих поверхностей мест производства работ, расположенных вне зданий, на этажерах вне зданий и под навесом, следует принимать по следующей таблице.

Таблица 16 – Освещенность и максимально допустимые удельные установленные мощности освещения мест производства работ вне зданий

Разряд зрительной работы	Отношение минимального размера объекта различия к расстоянию от этого объекта до глаз работающего	Средняя освещенность в горизонтальной плоскости, лк	Равномерность освещенности U_0 , относительные единицы, не менее	Коэффициент блескости R_G , относительные единицы	Максимально допустимая удельная мощность, Вт/м ² , не более
XI	От 0,01 до 0,02	150	0,4	45	9

Для успешного выполнения работ необходимо обеспечить работников осветительными установками с вышеперечисленными параметрами.

6.4.4. Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты

Во время подготовительного этапа шурфовки производятся землеройные работы для вскрытия трубопровода. Землеройные работы производятся в два этапа: сначала механизированным способом, а затем в ручную (лопатами). В первом этапе применяют экскаваторы, которые являются источником большой опасности. Также в рабочей зоне присутствует еще один источник опасности - трубопровод. Если трубопровод не был надлежащим образом закрыт с двух сторон кранами или заглушками и если стравливание газо-воздушной смеси не было полным, то на рабочем месте увеличивается риск появления утечки газа и ее воспламенения или взрыва.

Для метана (СН₄) НКПВ равен 4,4 % объемных, а ВКПВ равен 17 % объемных. Чтобы предотвратить воспламенение утечки рабочим выдают искробезопасные инструменты и взрывозащитные приборы. А также выдают портативные газоанализаторы, с порогом сигнализации в 0,7 % об. метана.

Вокруг экскаватора в радиусе, равном максимальному радиусу копания его плюс 5 м, устанавливаются опасную зону, в которой нахождение людей во время работы экскаватора запрещается. На границе зоны должны быть установлены предупредительные знаки и плакаты. Также экскаватор должен прекратить землеройные работы на расстоянии 0,5 м от трубопровода.

6.4.5. Загрязнение воздушной среды

В зоне выполнения работ возможны утечки природного газа (метан) из-за разгерметизации трубопровода. Вследствие этого в котловане может накапливаться метан и привести к удушью рабочих. Так как метан не имеет запаха, вкуса и цвета он является опасным газом, скапливаясь в замкнутых пространствах и низинах.

Физиологически метан индифферентен и может вызывать отравления лишь в очень высокой концентрации. Первые признаки отравления появляются при концентрации его в воздухе 25-30% объема. Более высокие концентрации метана вызывают головную боль. Наиболее сильное токсическое действие проявляется при повышенном давлении (2-3 атмосферы).

Главная опасность метана для человека может быть связана с гипоксией (кислородным голоданием) и асфиксией (удушьем), возникающими при недостатке кислорода, который метан вытесняет из воздуха. Предельно допустимая концентрация (ПДК) метана в воздухе рабочей зоны составляет 7000 мг/м³. Метан соответствует четвертому классу опасности.

Таблица 17 – Нормы для класса опасности

Наименование показателя	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/ м	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0

Главным средством борьбы с метаном является тот же газоанализатор. Анализ воздушной среды проводится раз в 30 мин. Порог сигнализации также ставится на 0,7% об. метана. Также работникам выдают шланговые противогазы с компрессором на случай эвакуации пострадавших из шурфа.

6.5.Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работающего

6.5.1.Падение твердых и сыпучих объектов

Конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа). Если из-за формы производственного

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

оборудования, распределения масс отдельных его частей и(или) условий монтажа (демонтажа) не может быть достигнута необходимая устойчивость, то должны быть предусмотрены средства и методы закрепления.

Если возможно возникновение нагрузок, приводящих к опасным для работающих разрушениям отдельных деталей или сборочных единиц, то производственное оборудование должно быть оснащено устройствами, предотвращающими возникновение разрушающих нагрузок, а такие детали и сборочные единицы должны быть ограждены или расположены так, чтобы их разрушающиеся части не создавали травмоопасных ситуаций.

Конструкция производственного оборудования должна исключать падение или выбрасывание предметов (например, инструмента, заготовок, обработанных деталей, стружки), представляющих опасность для работающих, а также выбросов смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей.

6.5.2. Укусы насекомых или животных

Безопасность труда при контакте с биологическими объектами, представляющими производственную опасность, должна обеспечиваться: производственным оборудованием (транспортные автомобили с жилым боксами и антимоскитными сетками); средствами защиты (антимоскитные сетки на голову, репелленты, защитные крема, спецодежда); системой специальных профилактических мероприятий (вакцинация, профилактическое питание и т.д.).

Система специальных профилактических мероприятий должна: обеспечивать возможность создания у работников, контактирующих с патогенными микроорганизмами, специфического активного или пассивного иммунитета (вакцинация); обеспечивать нормирование продолжительности труда во вредных условиях (отдых работников и сокращение продолжительности рабочего дня без сокращения заработной платы); обеспечивать возможность повышения сопротивляемости организма (профилактическое питание повышающее иммунитет).

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						82
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

6.5.3.Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

Производственное оборудование должно быть оснащено местным освещением, если его отсутствие может явиться причиной перенапряжения органа зрения или повлечь за собой другие виды опасности. Характеристика местного освещения должна соответствовать характеру работы, при выполнении которой возникает в нем необходимость. Местное освещение, его характеристика и места расположения должны устанавливаться в стандартах, технических условиях и эксплуатационной документации на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей.

6.5.4.Движущиеся твердые, жидкие или газообразные объекты

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикосания к ним работающего или использованы другие средства, предотвращающие травмирование.

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикосания работающих к движущимся частям, то конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие. Производственное оборудование должно быть пожаровзрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации.

Технические средства и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности (например, предотвращение образования пожаро- и взрывоопасной среды, исключение образования источников зажигания и инициирования взрыва,

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						83
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

предупредительная сигнализация, система пожаротушения, аварийная вентиляция, герметические оболочки, стравливание горючих газов, размещение производственного оборудования или его отдельных частей в специальных помещениях) должны быть предусмотрены на производстве.

6.5.5. Загрязнение воздушной среды

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при контакте с вредными веществами должны предусматривать: замену вредных веществ в производстве наименее вредными; замену пламенного нагрева электрическим, твердого и жидкого топлива - газообразным; применение прогрессивной технологии производства (автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, автоматический контроль процессов и операций), исключающей контакт человека с вредными веществами; выбор соответствующего производственного оборудования и коммуникаций, не допускающих выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации при нормальном ведении технологического процесса; рациональную планировку промышленных площадок; применение средств дегазации, активных и пассивных средств взрывозащиты и взрывоподавления; контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны в каждые 30 минут; применение средств индивидуальной защиты работающих; специальную подготовку и инструктаж обслуживающего персонала; проведение предварительных и периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами; разработку медицинских противопоказаний для работы с конкретными вредными веществами; отрабатывать оказание доврачебной и неотложной медицинской помощи пострадавшим при отравлении и удушении.

6.6. Экологическая безопасность

6.6.1. Санитарно-защитная зона

В целях обеспечения безопасности населения вокруг объектов и производств, являющихся источниками воздействия на среду обитания и

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						84
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

6.6.3. Защита гидросферы

Источником загрязнения гидросферы при проведении работ являются использованные горючесмазочные материалы и аккумуляторная кислота. ПДК серной кислоты составляет 500 мг/л, ПДК бензина 0,1 мг/л, ПДК и так далее. Чтобы не загрязнять гидросферу этими материалами необходимо собирать эти отходы в специально подготовленные емкости и относить их на предприятия, которые утилизируют их.

При организации и устройстве аккумулирующих емкостей для хранения сырья, продуктов и отходов промышленного производства на участках возможного загрязнения подземных вод: необходимо обеспечить водонепроницаемость аккумулирующих емкостей; мероприятия по охране вод от загрязнений должны быть основаны на данных инженерно-геологических изысканий, фильтрационных расчетах и прогнозах миграции загрязняющих веществ в подземных водах с учетом особенностей загрязняющих веществ; не допускается сооружение аккумулирующих емкостей в зонах питания подземных вод в начале делювиальных или пролювиальных конусов выноса или шлейфов, на нижних речных террасах, сильнотрещиноватых участках, особенно если подземные воды в этих отложениях используются для питьевого водоснабжения.

При авариях и повреждениях, которые могут вызвать загрязнение подземных вод, необходимо оградить место аварии и обеспечить его охрану, покрыть адсорбционными материалами разлитые или рассыпанные вещества, собрать, нейтрализовать или уничтожить разлитые или рассыпанные вещества и ликвидировать последствия аварии и повреждения.

6.6.4. Защита литосферы

Источником загрязнения литосферы являются отходы производства такие, как металлолом, изделия из резины, входящие в состав вышедшего из строя оборудования материалы (пластик, стекло, редкоземельные металлы и т.д.). Все эти отходы представляют большую опасность для фауны и экологии в целом.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						86
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Неприемлемо выбрасывать эти отходы в неспециализированных под эти нужды территориях и зонах. Основными направлениями при разработке методов обращения с твердыми отходами являются: разработка технологий, направленных на уменьшение (минимизацию) образования отходов; использование отходов в качестве вторичных материальных ресурсов; размещение или депонирование (складирование) отходов; утилизация отходов.

Для минимизации урона литосферы твердые промышленные отходы следует складировать в специализированных контейнерах и отвозить их компаниям производящим утилизацию твердых промышленных отходов.

6.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При поведении работ возможны следующие чрезвычайные ситуации: разрыв трубопровода с последующим воспламенением и взрывом; утечка газа из трубопровода без воспламенения газа; землетрясение; паводок; оползень; утечка газа и взрыв при незаконной врезке в газопровод; задавливание трубопровода техникой превышающего предельную массу перехода; террористический акт; атака условного противника промышленных объектов.

Наиболее вероятный сценарий при ЧС это утечка газа из трубопровода без воспламенения газа. Источником возникновения этого ЧС является: брак строительно-монтажных работ, механическое повреждение труб машинами и механизмами при землеройных работах, большой срок службы трубопровода, коррозия, нарушение требований нормативной документации при эксплуатации трубопровода, заводской брак и непроектные просадки грунта. Для борьбы с данным ЧС необходимо: поводить качественную приемку построенных объектов; своевременно проводить профилактические и плановые работы по выявлению дефектов; проводить строгий контроль, за выполнением правил технической эксплуатации; следить за соблюдением требований техники безопасности и охраны труда; подбирать и использовать новые технологии и материалы для обеспечения надежной эксплуатации и бесперебойной перекачки газа.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		87

При возникновении утечки газа из трубопровода следует немедленно прекратить выполнение всех работ, эвакуироваться из котлована, ответственному за проведение работ связаться с диспетчером и аварийными службами, запретить использовать открытый огонь и электроприборы не имеющие взрывозащиту, перекрыть кранами путь поступления газа либо переключив поток на лупинг (при наличии) согласовав это с диспетчером, ждать бригаду аварийной службы. Бригада аварийной служба должна найти местонахождение утечки, вскрыть дефектный участок и заменить ее на исправную катушку. Затем они должны восстановить изоляцию, засыпать котлован и восстановить рекультивационный слой почвы. При этом, все это время должен производиться анализ воздушной среды.

6.8. Выводы

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» были изучены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, опасные и вредные факторы производства, изучена экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. Вся эта работа имеет значительную практическую ценность для производства работ и может быть внедрена в нее.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						88
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Заключение

В ходе выполнения научно исследовательской работы студента была изучена проблематика трубопроводного транспорта в условиях Крайнего Севера; изучен Российский опыт эксплуатации трубопроводов в условиях Крайнего Севера; рассмотрены условия прокладки газопровода «Силы Сибири»; изучены свойства криогелей и выбран нековалентный криогель на основе поливинилового спирта для борьбы с термокарстом; изучена методика испытания образцов с криогелем; выявлена необходимость моделирования НДС трубопровода.

Учитывая тот факт, что на Крайнем Севере нашей страны, в условиях многолетнемерзлых грунтов, располагаются огромные запасы природных, углеводородных ресурсов и сложности их разработки можно предположить, что методы сооружения трубопроводов в условиях многолетнемерзлых грунтов будут модифицироваться и совершенствоваться чтобы повысить надежность трубопроводов. Поэтому, развитие методики повышения надежности при помощи криогелей - важная задача.

Результаты проведенной работы показали, что проблему повышения надежности магистральных трубопроводов в зоне многолетней мерзлоты может решить перспективная методика борьбы с колебаниями проектных высотных положений трубопроводов – применение криогелей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании			
Разраб.		Васильев Е.П.			Заключение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Бирков П.В.					89	108
Консульт.								
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						
						НИ ТПУ гр.25М81		

Список источников

1. Транснефть. Энциклопедия технологий. [Электронный ресурс] – режим доступа к стр.: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/53/>

2. А.К. Дерцакян, Н.П. Васильев, Строительство трубопроводов на болотах и многолетнемерзлых грунтах.- М.: Недра, 1987 – 167с.;

3.«География». [Электронный ресурс] – режим доступа к стр.: http://julia-pirogova.blogspot.com/2012/05/blog-post_4710.html

4. Анисимов В. В. Строительство магистральных трубопроводов в районах вечной мерзлоты / В. В. Анисимов, М. И. Криницын. – Л.: Гостоптехиздат, 1963. – 147 с.;

5. Разгуляев Н.П. Надежность и долговечность трубопроводов большого диаметра в вечномерзлых грунтах/Н.П. Разгуляев// Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых/ Н.П. Разгуляев – М.,2015. – С. 289-293.

6. Строкова Л.А. Природные особенности строительства магистрального газопровода "Сила Сибири" на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск /Л.А. Строкова, А.В. Ермолаева// Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2015 - №4 – С. 41-55.

7. Лисин Ю.В., Сощенко А.Е. Технологии магистрального нефтепроводного транспорта России. Москва. 2013 г. 421 с.

8. Кроник Я.А. Динамика аварийности и безопасности природно-техногенных систем в криолитозоне // Материалы четвертой конференции геокриологов России. МГУ им. М.В. Ломоносова, 7-9 июня 2011 года. Т. 3. – 285-292 с.

					<i>Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев Е.П.</i>			<i>Список источников</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Бирков П.В.</i>					90	108
<i>Консульт.</i>								
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Шадрина А.В.</i>						
					НИ ТПУ зр.2БМ81			

9. Шмелев Д., Станиловская Ю., Грин Э., Добуан П., Российские магистральные трубопроводы на мерзлоте: практика изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации // Материалы пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14-17 июня 2016 г. – 235-240 с.

10. Васильчук А.К., Васильчук Ю.К. Особенности инженерных изысканий для строительства трубопроводов в пределах бугристых ландшафтов зоны спорадического распространения многолетнемерзлых пород // Инженерные изыскания. – 2014. – №9-10 – С.4-12.

11. Фундаментстройаркос. [Электронный ресурс] – режим доступа к стр.: www.npo-fsa.ru

12. Андреев А.А. Природные условия строительства участка магистрального газопровода "Сила Сибири"/А.А, Андреев// Вестник магистратуры. – 2016 - №3-1 – С. 22-29.

13. Титков С.Н. Инженерно-геокриологическое картографирование при инженерно-геологических изысканиях для строительства магистральных трубопроводов в криолитозоне//С.Н. Титков/Инженерные изыскания. – 2014. - №4. – С.42-48.

14. Бурков П. В. Анализ напряженно-деформированного состояния трубопровода в условиях вечной мерзлоты. / Бурков П. В., Буркова С. П., Тимофеев В. Ю., Ащеулова А.А., Ключ О. В.//Вестник кузбасского государственного технического университета. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева(Кемерово). – 2013г. – С.77-79

15. S.V.Ross-Murphy, H.McEvoy. *Br.Polym.J.*, 18,2 (1986)

16. С.П. Папков. *Студнеобразное состояние полимеров*. Химия, Москва, 1974. 256 с.

17. А.А. Тагер. *Физико-химия полимеров*. Химия, Москва, 1968. С.427

18. Лозинский В.И. Криогели на основе природных и синтетических полимеров: получение, свойства и области применения/ В.И. Лозинский// Успехи химии – 2002 - №71 – С. 489–511.

					Список источников	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

19. В.И. Лозинский. Дис. д-ра хим. наук. ИНОЭС РАН, Москва, 1994
20. В.И. Лозинский, А.В. Вакула, А.Л. Зубов. *Биотехнология*, (4), 5 (1992)
21. Л.В. Домотенко, В.И. Лозинский, Е.С. Вайнерман, С.В. Рогожин. *Высокомолекулярные соединения*, 30А, 1661(1998)
22. V.I.Loizinsky, L.G.Damshkain, C.R.T.Brown, I.T.Norton. *Polim Int.*, 49, 1434 (2000)
23. А.Шварц, Дж Перри. *Поверхностно активные вещества*. — М.: Иностранной литературы, 1953. — С. 250. — 550 с.
24. Начинкин О.И. *Полимерные микрофильтры*. — М.: Химия, 1985. — С. 65. — 216 с.
25. CZL. Измерение краевого угла смачивания (контактного угла жидкости).[Электронный ресурс] – режим доступа к стр.: <https://www.czl.ru/catalog/special/contact-angle-meter/measurement-surface-tension-liquid-acam-hsc.html>
26. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. - Взамен ГОСТ 12248-96 и ГОСТ 24143-80; Введ. 2012-01-01. Москва – 2012. – С. 25.
27. ГОСТ 30416-2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – Взамен ГОСТ 30416-96; Введ. 2013-07-01. Москва, 2013. – С. 9.
28. Методические указания к выполнению лабораторных, индивидуальных и самостоятельных работ по курсам «Инженерная геология» направления 21.04.02 «Землеустройство и кадастры» и «Грунтоведение» для студентов, обучающихся по профилю «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» направления 21.05.02 «Прикладная геология» / сост. Крамаренко В.В.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 229 с.
29. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
30. Типовая производственная инструкция «Временное устранение утечки газа из наружных газопроводов. [Электронный ресурс] – режим доступа к стр.:

					Список источников	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

<http://ch4gaz.ru/instrukciya-po-ot-pri-shurfovke-uchastka-dejstvuyushhego-gazoprovoda/>

47. Streletskiy D. Permafrost Degradation / Dmitry Streletskiy, Oleg Anisimov and Alexander Vasiliev// Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters – 2015 - Chapter 10 - PP. 303-344.

48. Алтунина Л.К. Криогели - перспективный материал для строительной индустрии и решения экологических проблем /Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Фуфаева М.С.// 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.

49. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая) от 31.07.1998 N 146-ФЗ (ред. от 27.11.2018) // Собрание законодательства РФ, N 31, 03.08.1998, ст. 3824.

50. Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве (МДС 81-33.2004)/Госстрой России. -М., 2004. - 27 с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список источников	Лист
						94

Приложение А

(справочное)

Reliability of main pipelines in permafrost affected by cryogel

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ81	Васильев Евгений Прокопьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Бурков Петр Владимирович	д.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование воздействий многолетнемерзлых грунтов на надежность магистральных трубопроводов с криогелем в основании			
Разраб.		Васильев Е.П.			Приложение А	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Бирков П.В.					95	108
Консульт.		Поздеева Г.П.				НИ ТПУ гр.2БМ81		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.						

Introduction

Permafrost soils are widespread in the North of the Russian Federation. Permafrost is believed to be the last ice age heritage and it is gradually melting. The strength properties of soils are related to the proportion of ice as well as the temperature: the lower the temperature is, the higher the strength properties of soils are. The permafrost area can spread continuously (up to hundreds meters deep) or intermittently - in the shape of separate lenses. Permafrost is very sensitive to temperature changes. For example, disturbance of the surface vegetation layer by caterpillars of all-terrain vehicles or bulldozers leads to the rapid thawing of permafrost, its structure destruction and the formation of huge thawing fields. Being a reliable foundation in the frozen state, during several summer seasons these sub soils turn into a swamp and this leads to pipeline floating, lateral displacements and strains.

The increased risk of accidents and failures of oil and gas pipelines in the permafrost zone is associated with the reliability and safety of pipeline transport. The construction of oil and gas pipelines in the permafrost distribution area is characterized by significant economic losses.

Ensuring reliable and safe operation of gas pipelines is an important task in such specific climatic and terrain conditions.

Pipeline transport in the conditions of the Russian Far North

Soils of all types are called frozen if they have a negative or zero temperature and contain ice. Such soils are called permafrost if they have been frozen for many years (three or more).

The geoecological consequences of the thermal conditions disturbance in pipelines construction and operation in the permafrost zone lead to anthropogenic impact (disturbance or complete destruction of the vegetation cover and snow cover redistribution) and geocryological processes. The degree of activation depends on the frozen strata cryogenic structure, their thermal conditions and composition, man-made environmental impact and landscape features. As a result, energy exchange is increasing in created and existing natural and technical

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						96
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

systems. This results in permafrost disturbance within the dynamic permafrost balance.

The depth of seasonal thawing depends on the values of air temperature and thermal properties of the soil. The terrain, slopes and the amount of solid and liquid precipitation also affect the depth of soil thawing. Therefore, engineers select the optimal routes for laying pipelines, the composition and scope of engineering and environmental surveys and ensure industrial and environmental safety in the areas of pipelines and in adjacent areas. The climatic conditions of the structures are important factors in the oil and gas pipelines design in the Russian Far North.

Active layer freezes in winter and thaws in summer. This term (suprapermafrost layer) is widely used among builders, as it reflects important phenomena in construction. Physico-mechanical and physico-chemical processes take place in this layer (weathering, soil heaving, freezing and thawing, moisture changes, migration, ice formation, etc.). They negatively affect the stability of constructed and operated facilities.

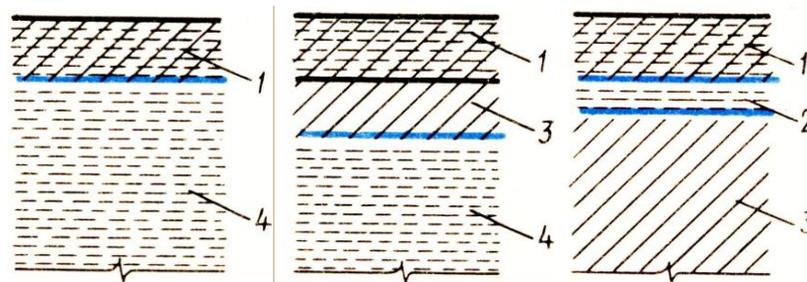


Fig. 1. The soil profile

a - a merged active layer; b - a non-merged active layer; c - an active layer with a permanent snow patch;

1 - an active layer; 2 - a permanent snow patch; 3 - a thawed soil; 4 - permafrost soil.

In addition, heat exchange is affected by the depth and speed of the upward flow as well as the chemical composition of groundwater.

The climate plays the most important role in the temperature control of the active layer and the permafrost zone.

Permafrost soils can have continuous occurrence at great depths (continuous permafrost without inclusions and melt layers). Also, they can have intermittent bedding (they are interspersed in a vertical section with layers of thawed soils).

Permanently frozen soils can have a continuous and intermittent distribution. This is clearly visible on topographic maps. Intermittent distribution consists of sections of thawed soils that wedge into permafrost in the form of spots. Or vice versa, permafrost soils can have an island distribution (individual lenses) lying among meltwater.

Permafrost soils may merge if their surface is in contact with the active layer in the period of greatest freezing. Also, they may not merge if their surface is separated from the last layer of thawed soil in the period of maximum freezing of the active layer.

The problems arising during the pipeline operation in the Russian Far North can be divided into two types:

- problems associated with thawing and subsidence of frozen soil under the influence the transported product heat;
- problems associated with frozen soil heaving in freezing. These phenomena cause the pipeline specified position damage. Moreover, the pipeline relocation often exceeds critical values which lead to structural failure.

Pipeline settlements occur on clay and loess soils (the pipeline axis drops below the calculated level with increasing soil moisture above a certain value).

The soil serving the basis for the line section (its physical and mechanical properties are heterogeneous) thaws with uneven subsidence along the entire

length of the pipeline. This leads to uneven loads on the pipeline and poses a threat to its integrity.

Conditions for “Power of Siberia” construction

At present, the problem of laying pipelines in permafrost is gaining new urgency in connection with the start of a large-scale international project (Power of Siberia gas pipeline). A significant part of this pipeline passes through the territory of permafrost soils.

The engineering and geological survey findings show that the geological and lithological section consists (at a depth of 1.3-1.5 m) of semi-solid loam. Sandy clays are found at a depth of 0.9–1.5 m and frozen with low ice content sandy clays are at a depth of 2.4–2.9 m. Solid sandy clays with granitic subsoil are uncovered at the adjacent sites to the temporary watercourse valley (according to mining operations results at a depth of 0.7 m). The deeper section (penetrated thickness) is composed up to a depth of 10 m with frozen with low ice content clay loams. Permafrost soils are distributed throughout the depth of drilled wells (5-15 m) within the considered area.

Let's consider one of the pipeline sections. Figure 3 demonstrates a geological section in the area of the PK 330 in the Chayanda-Lensk section (km 0 - km 60).

Engineering-geological elements are represented by the following soils:

- 110000 - topsoil;
- 140,000 - Light loam, silty, hard;
- 220010 - sandy coarse gravel;
- 240125, 240126 - dolomites (of various strength).

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						100
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

The climate of this territory is extreme continental (the climate has very cold winters and high summer temperatures).

The lowest temperatures are observed from November to March. In winter an absolute minimum temperature often reaches 61 ° C below zero in January. The highest air temperatures are observed from July to August (the absolute maximum temperature is 36 ° C above zero). The average annual temperature is 6.2 ° C below zero. The average monthly temperature in January (the coldest month) is 29.8 ° C below zero. The average monthly temperature in July (the warmest month) is 17.6 ° C above zero. The average monthly relative humidity is quite high: it reaches a maximum (75%) in the cold season and a minimum (53%) in July.

Geomorphologically the gas pipeline passes through the Prilensky Plateau. The Prilensky Plateau (the main geomorphological unit of the Chayandinskoye OGCF-Lensk gas pipeline section) is located in the southeast of the Srednebirsky plateau in the midstream of the Lena River. It is an elevated plain with an average absolute height of 300-600 m. The Prilensky plateau consists mainly of karstifiable rocks (gypsum, limestone). These rocks are subject to erosion. And therefore, these bizarre rocks formed the well-known Lena Pillars above the Lena River Valley for 400,000 years.

The most important consequence of the extreme continental climate of the Republic of Yakutia (Sakha) is almost the continuous distribution of permafrost. It was formed due to low winter temperatures and small amounts of snow. During a cold season rocks lose a large amount of heat and freeze through considerably turning into solid frozen mass. In the summer, they do not have time to completely thaw, and the negative temperatures have remained at low depths for hundreds and thousands of years.

According to the geo-cryological zoning of the Middle-Siberia, pipelines are located within the Prilenskaya province which is characterized by intermittent permafrost distribution.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						102
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

The territory of the planned activity refers geocryologically to the zone of intermittent permafrost distribution. Local permafrost has a merging and non-merging type of permafrost. The permafrost development area is from 40 to 80%. The maximum thickness of the frozen zone is 100 - 250 m on the plains and plateaus. The maximum depth of seasonal thawing for sands and loams is 3.0–4.6 and 2.0–2.7 m, respectively. The temperature at a depth of zero fluctuations is from minus 1 to minus 4 ° C.

Sporadic ice-wedge casts are developed within the described territory; they develop to a depth of 5-10 m in river valleys and drawdowns.

The permafrost zone is characterized by a two-layer structure. Its upper part consists of permafrost with a thickness of 300-400 m on the watershed and with a thickness of 30-90 m on low terraces. The lower part of the section (500 - 900 m) consists of rocks cooled to 0 ° C, it contains salt water and brines.

The permafrost from the surface has a predominantly island distribution with average annual temperatures from 0.3° C to 1 ° C below zero. The frozen island zone is represented only by individual “islands”. Usually, these “islands” are tied to swampy river valleys, peat mounds, and also to the lower part of the northern slopes. The total area of taliks (thaw zones) is more than 80%. The temperature of frozen soils at a depth of 10 m varies from minus 0.3 to minus 0.9 ° C.

The depth of seasonal freezing-thawing is determined by the composition of the soil. The upper part of the soil section is represented by peat. Most of the section is represented by loams (from light to heavy; from dusty to sandy), loamy sands, dolomites and weathered limestones. Their depth varies from 2.0 m to 3.5 m. All soils have a noticeable admixture of organic substances.

Hazardous geological processes and phenomena in this area are characterized by relatively high intensity. Thus, the intensity of exogenous geological processes (karst and sloping processes, frosty heaving of soils, formation of marshes and erosion processes) is more than 25%.

					<i>Приложение А</i>	<i>Лист</i>
						103
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

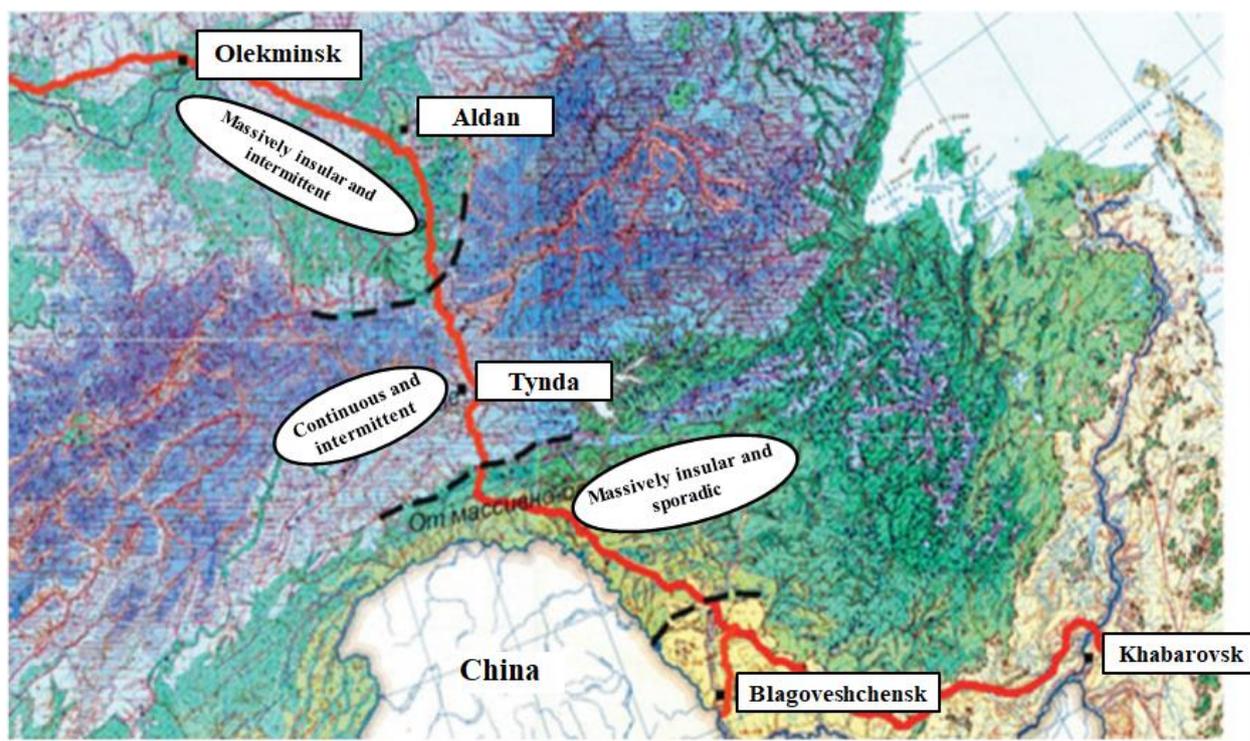


Fig. 4 The route of the "Power of Siberia" gas pipeline on the "Geocryological map of the USSR" with the types of permafrost distribution

Cryogel

Gelation and cryogels

Structured polymer physical bodies (gels) can be described as a “polymer-immobilized solution”. Macromolecules in the solution form a spatial network that is quite stable over time (non-fluctuation bonds). The nature of these bonds and the morphology of the networks are determined by the chemical structure and method of producing gels.

Gels are usually characterized by the ability to significant reversible deformations (in the absence of fluidity).

There are two principles for getting gels:

- firstly, polymer swelling;
- secondly, gel formation in a liquid medium.

In the first case, the limited swelling of the non-cross-linked polymer results in gel formation. The second option is the most common way to form gels. The initial system may be a solution of monomers, this solution initiates the process of branched polymerization.

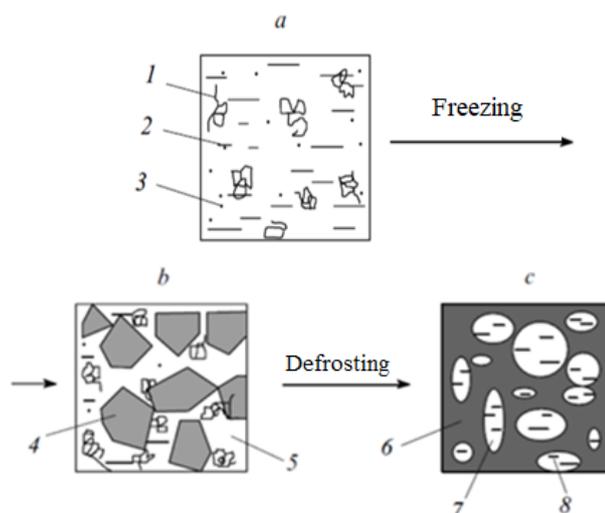


Fig. 6. Scheme cryotropic gelation

a- an initial sample; b- a sample after freezing; c-cryogel.

1- a polymer precursor; 2- a solvent; 3-low-molecular substances or a monomer precursor; 4 - polycrystals of the frozen solvent; 5- non-frozen liquid microphase; 6 - a polymer network of the gel phase of heterophase cryogel; 7-macropores; 8 – a solvent.

In this case, the wall material has its own porosity. The formation of such a gel occurs at high concentrations of the precursors. The resulting polymer phase is a fine network of microporous structure. Macropores are commonly reported in the resulting cryogel. Since each crystal of the solvent during freezing grows from the periphery of the vessel to the center, before touching the surface of another crystal.

Non-covalent (physical) cryogels are the most well-known and well-studied gel materials obtained by the technology of "freezing-thawing". This is especially true for PVA cryogels.

PVA solutions, amylopectin solutions, maltodextrin solutions or amylopectin solutions are more convenient for the formation of non-covalent cryogels, since they relate to slowly hardening systems with decreasing temperature. They can be frozen without complications: they can withstand the necessary time at a given negative temperature, and then they could be thawed (obtaining the corresponding cryogels). Cryogels based on such polymers are

thermally reversible: they melt at elevated temperatures, and the repeated freeze-thaw cycle of the resulting solution again leads to the formation of a cryogel.

Intermolecular bonds stabilize the nodes of the spatial polymer network of physical cryogels. The chemical nature of the intermolecular bonds depends on the structure of the gelling agent. Cryogels based on PVA, amylopectin and other polyhydroxyl polymers usually have hydrogen bonds.

Characteristics of non-covalent cryogels are often very sensitive to thawing conditions. When thawing rate decreasing, rigidity and thermal stability of physical cryogels increases. This tendency is characteristic of thermally reversible cryogels. Their main type of intermolecular interactions is the hydrogen bond.

PVA concentration in the initial solution, g/dl	Thawing speed of frozen samples, °C/min	The shear modulus of the cryogels PVA, kPa
3.0	0.30	< 0.3
3.0	0.03	< 0.3
5.0	0.30	< 0.3
5.0	0.03	1.73
7.0	0.30	1.80
7.0	0.03	3.93
10.0	0.30	4.94
10.0	0.03	10.6
10.0 ^a	3.0	1.40
10.0	0.30	3.20
10.0	0.03	9.40

Table 1. Influence of the thawing rate on the rheological properties of PVA cryogels.

These data indicate that the formation of PVA cryogel occurs at the thawing stage.

