

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Исследование технологии промораживания грунтов при выборочном капитальном ремонте нефтегазопроводов»

УДК 622.692.4-049.32:624.138.3-046.48

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Самсонов А.С.		14.05.2018

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД ИШПР	Крец В.Г.	к.т.н, доцент		14.05.2018

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ОСГН ШБИП	Макашева Ю.С.			14.05.2018

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			14.05.2018

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОИЯ ШБИП	Коротченко Т.В.	к.ф.н., доцент		14.05.2018

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		14.05.2018

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по Основной образовательной программе подготовки магистров
по направлению **21.04.01 «Нефтегазовое дело»**

Профиль подготовки: *Надежность газонефтепроводов и хранилищ.*

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i>		
<i>Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»</i>		
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)	ОК-1; ОК-2; ОК-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	ОК-1; ОК-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.	ОК-1; ОК-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> .	ОК-2; ОПК-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>		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-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 <i>разработке и реализации проектов</i> ,	ОК-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;

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
	проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i>	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>		
Р7	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	ОК-1; ОК-2; ОК-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)
Р8	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	ОК-1; ОК-2; ОК-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»		
Р9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СВОО ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли</i>
Р10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СВОО ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"</i>
Р11	Повышение надежности, долговечности, эффективности газотранспортного оборудования	<i>Требования ФГОС ВО, СВОО ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"</i>

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП ОНД ИШПР
 _____ Бурков П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Самсонову Александру Сергеевичу

Тема работы:

«Исследование технологий промораживания грунтов при выборочном капитальном ремонте нефтегазопроводов»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 12.03.2018 г. №1624/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – технологии промораживания грунтов для сооружения рабочего котлована. Предмет исследования – выбор технологии промораживания грунтов для обеспечения устойчивости стенок рабочего котлована.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>– анализ существующих методов повышения устойчивости грунта – выбор технологии низкотемпературного замораживания грунта при строительстве рабочего котлована – исследование напряжений возникающих на трубопроводе при промораживании грунта – расчет времени необходимого для замораживания</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Макашева Ю.С., ассистент ОСГН ШБИП</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Немцова О.А., ассистент ООД ШБИП</p>
<p>«Иностранный язык»</p>	<p>Коротченко Т.В., доцент ОИЯ ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: реферат</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.2018</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД ИШПР	Крец В.Г.	к.т.н, доцент		01.02.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Самсонов А.С.		01.02.2018

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Самсонову Александру Сергеевичу

Школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Отделение/профиль	21.04.01. Нефтегазовое дело профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Расчет на проведение работ по искусственному замораживанию грунта по периметру ремонтного котлована в условиях болот</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы времени на проведение мероприятий, часовая тарифная ставка, районный коэффициент, заработная плата с учетом надбавок.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налоги, сборы, отчисления в порядке, установленном законодательством.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Выявление необходимых ресурсов и затрат при применении технологии низкотемпературного воздействия на грунт.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Линейный график выполнения работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка эффективности применения жидкого азота в качестве хладагента для промораживания грунтов.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Диаграмма структуры материальных затрат, амортизационных отчислений, оплаты труда и накладных расходов.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ОСГН ШБИП	Макашева Ю.С.			02.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Самсонов Александр Сергеевич		02.03.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Самсонову Александру Сергеевичу

Школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Отделение/профиль	21.04.01. Нефтегазовое дело профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Рабочее место расположено на открытом воздухе. Объектом исследования, является ремонтный котлован, расположенный в сложных болотистых условиях. Особенность данных условий заключается в слабой устойчивости грунтов, что приводит к обрушению стенок котлована, в необходимости обеспечения подъездных путей.</i></p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу; <p><i>Опасные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Пожаровзрывоопасность; 2. Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; 3. Электрический ток. 4. Электрическая дуга и металлические искры при сварке 5. Аппараты под давлением
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу 	<p><i>Следующие факторы могут оказывать воздействие на окружающую среду:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -загрязнение атмосферного воздуха машинами и механизмами; -загрязнение водных ресурсов

<p>(сбросы);</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>производственными отходами; -загрязнение земель отходами производства.</i></p> <p><i>С целью охраны окружающей среды при аварийно-восстановительных работах на МН должны предусматриваться:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - соблюдение всех действующих стандартов, норм и правил в области охраны окружающей среды, а также СНиП 2.05.06-85*; СНиП III-42-80*; ВСН 014-89;
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>В процессе ремонтных работ не исключена возможность появления чрезвычайной ситуации в результате различных факторов.</i></p> <p><i>Наиболее частой является ЧС техногенного характера. В основе аварий могут лежать, как технические причины (износ оборудования, его разрушение, нарушение технологического процесса, отказ электроники и механических средств, предотвращения появления опасных факторов, таких как повышение давления), так и человеческий фактор</i></p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Соблюдение всех действующих стандартов, норм и правил в области охраны окружающей среды и организации рабочей зоны.</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			14.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Самсонов А.С.		14.03.2018

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
 Уровень образования магистр
 Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2018г
--	-------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.02.2018	<i>Литературный обзор</i>	10
21.02.2018	<i>Общие сведения об объекте исследования</i>	10
15.03.2018	<i>Расчёт параметров ледогрунтового ограждения</i>	15
02.03.2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
11.03.2018	<i>Социальная ответственность</i>	15
20.04.2018	<i>Приложение на иностранном языке</i>	15
28.04.2018	<i>Заключение</i>	5
18.05.2018	<i>Презентация</i>	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД ИШПР	Крец В.Г..	к.т.н, доцент		01.02.2018

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		01.02.2018

Обозначения и сокращения

СРДП – сборно-разборное дорожное покрытие;

МДП – мобильное дорожное покрытие;

МН – магистральный нефтепровод;

ИПТЭР – институт проблем транспорта энергоресурсов, г. Уфа;

ОАО МН – открытое акционерное общество магистральных нефтепроводов;

НПС – нефтеперекачивающая станция;

D_n - наружный диаметр трубы;

R_1 – расчетное сопротивление растяжению металла труб;

P – рабочее давление;

ψ_1 - коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние труб;

m – коэффициент условий работы трубопровода;

k_l, k_n – коэффициенты надежности, соответственно, по материалу и по назначению трубопровода;

$\sigma_{np.N}$ - продольное осевое сжимающее напряжение;

α, E, μ – физические характеристики стали;

$D_{вн}$ – диаметр внутренний;

ε - относительная шероховатость труб;

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 133 с., 16 рис., 8 табл., 37 источников, 1 прил.

Ключевые слова: выборочный ремонт, заморозка грунта, расчет, рассольный способ безрассольный способ, устойчивость грунта, трубопровод, болото, замораживающие колонки.

Объектом исследования являются объектом исследования являются технологии промораживания грунтов, которые можно было бы применять для сооружения ремонтного котлована при проведении работ на нефтегазопроводах.

Цель работы – выбор технологии промораживания грунтов для обеспечения устойчивости стенок ремонтного котлована.

В процессе исследования проводились расчет числа замораживающих скважин, расчет необходимого количества холода, определение количества холода, передаваемого грунтам замораживающими трубами, расчет времени необходимого для замораживания, расчет количества жидкого азота, определение температур ледогрунтового ограждения. Рассмотрены существующие методы повышения устойчивости грунта, особенности устройства рабочего котлована в болотистых и обводненных условиях.

В результате исследования был произведен сравнительный анализ технологий низкотемпературного замораживания грунта при строительстве ремонтного котлована. На основании полученных результатов было выявлено, что применение технологии замораживания жидким азотом имеет ряд преимуществ, одним из которых высокая скорость образования ледогрунтового ограждения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: технология низкотемпературного промораживания жидким азотом периметра ремонтного котлована

Область применения: трубопроводный транспорт нефти и газа

Экономическая эффективность/значимость работы трудозатраты при промораживании грунта жидким азотом меньше на 46,5%, чем при рассольном способе. При инвестиции равной в 1097015,1 руб. ремонтируемый участок трубопровода можно подготовить к полноценному ремонту.

ABSTRACT

Final qualifying work 72 p., 0 fig., 21 tables, 37 sources, 1 application.

Key words: selective repair, ground frost, calculation, brine process, uncrossless, soil stability, pipeline, swamp, freezing columns.

The subject of study: the technology of soil freezing, which could be used to construct a repair pit during oil and gas pipelines.

The purpose of the work: to select the technology of soil freezing to ensure the stability of the walls of the repair pit.

In the course of the study, the number of freezing wells was calculated, the required amount of cold was calculated, the amount of cold transmitted by the soil to the freezing pipes was determined, the time required for freezing was calculated, the amount of liquid nitrogen was determined, and the temperature of the ice-ground fence was determined. Existing methods of increasing the stability of the soil, the features of the construction of a working trench in marshy and flooded conditions are considered.

As a result of the research, a comparative analysis of low-temperature soil freezing technologies was carried out during the construction of a repair pit. On the basis of the results obtained, it was found that the use of liquid nitrogen freezing technology has a number of advantages, one of which is the high rate of formation of the ice barrier.

Basic technical-operational characteristics: low-temperature freezing technology with liquid nitrogen perimeter of the repair pit.

Field of application: pipeline transport of oil and gas

The economic efficiency / significance of labor labor during soil freezing with liquid nitrogen is less by 46.5% than in the brine process. With an investment of 1097015.1 rub. The repaired section of the pipeline can be prepared for full repair.

Оглавление

Введение.....	15
1. Обзор литературы	17
1.2 Укрепление стенок ремонтного котлована в грунтах со слабой несущей способностью	20
1.3 Сооружение ремонтного котлована с применением герметичных камер	23
1.4 Монтаж камеры	27
1.5 Шпунтовое ограждение	31
1.6 Шпунт металлический	35
2. Методы повышения устойчивости грунтов	37
2.1 Химический метод. Укрепление грунтов способом цементации	38
2.2 Химический метод. Укрепление грунтов способом битумизации ..	41
2.3 Электрохимический метод крепления грунтов	44
2.4 Искусственное замораживание грунтов	50
2.5 Замораживание грунта по рассольной схеме	51
2.6 Замораживание грунта по безрассольной схеме.....	53
2.7 Замораживание грунта с применением жидкого азота	54
2.8 Искусственное замораживание грунтов с применением жидкого азота при сооружении ремонтного котлована. Достоинства.....	57
2.9 Замораживающие станции и установки для производства и доставки жидкого азота.....	58
2.10 Транспортные цистерны.....	58
2.11 Азотные установки для производства жидкого азота из атмосферного воздуха.....	60
2.11 Станции для производства кислорода и азота МКДС - 100К	62
2.12 Выбор технического оборудования для получения и доставки жидкого азота.....	66
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	68
3.1 Мобильная станция АКДС – 70М для производства жидкого азота	69

3.1.1 Расчет производительности при замораживании грунта ремонтного котлована.....	73
3.1.2 Расчет затрат при замораживании грунта ремонтного котлована	75
3.2 Экономическая эффективность замораживания грунта с использованием жидкого азота.....	78
3.3 SWOT-Анализ.....	79
4. Социальная ответственность	81
4.1 Производственная безопасность	82
4.1.1 Анализ вредных факторов.....	83
4.1.2 Анализ опасных факторов.....	85
4.2 Экологическая безопасность.....	93
4.2.1 Анализ влияния возможного попадания загрязняющих веществ в окружающую среду при ремонте нефтегазопроводов	93
4.2.2 Защита гидросферы	93
4.2.3 Защита литосферы	94
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	95
4.3.1 Анализ вероятных ЧС при проведении ремонтных работ в болотистых условиях	95
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	98
Заключение	101
Список литературы	103
Приложение А	107
(справочное).....	107

Введение

Проведение ремонтных работ на нефтепроводах, проложенных по грунтам со слабой несущей способностью в условиях болот, является наиболее трудоемким и сложным процессом. Специфика заключается в необходимости применения дополнительного оборудования и техники. Из-за неустойчивости грунта, подъезд техники к месту проведения ремонтных работ затрудняется, либо невозможен в целом. Аналогично устраивать Ремонтный котлован обычным способом не получается из-за обрушения его стенок и заполнением водой, или болотными массами. Для решения проблем обеспечения подъездных путей обычно используется сборно-разборное дорожное покрытие, слани, мобильное дорожное покрытие, или лежневая дорога. Чтобы избежать обрушения стенок ремонтного котлована применяется шпунтовое ограждение, а при большой обводненности ремонтная герметичная камера и устройство дренажного отвода воды.

Таким образом, актуальность данной работы заключается в том, что частота выборочного ремонта нефтегазопроводов в настоящее время достаточно большая, поэтому сооружение ремонтного котлована в условиях слабых грунтов является актуальной. По разным оценкам заболоченность Западной Сибири колеблется от 30 до 40% и более. Протяженность болот составляет десятки и сотни метров, а в отдельных случаях – десятки километров. Болотом принято называть сильно увлажненный участок территории с верхним слоем органического или органоминерального грунта. В качестве примера, при обследовании 1035 км трубопроводов, сооружаемых Главтюментрубопроводстроем, было выявлено 468 болот при их средней протяженности 580, 750 и 1090 м, а средняя мощность торфяной залежи 1,23, 2,25 и 2,92 м. [15]

В данной работе объектом исследования являются технологии промораживания грунтов, которые можно было бы применять для сооружения ремонтного котлована при проведении работ на нефтегазопроводах.

В свою очередь, предметом исследования является особенности технологий низкотемпературного промораживания грунтов при сооружении ремонтного котлована.

Цель данной работы состоит в выборе технологии промораживания грунтов для обеспечения устойчивости стенок ремонтного котлована.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. Анализ существующих методов повышения устойчивости грунта
2. Выбор технологии низкотемпературного замораживания грунта при строительстве ремонтного котлована.
3. Исследование напряжений возникающих на трубопроводе при промораживании грунта.

Методом исследования проблемы является: анализ научной литературы, расчет экономической целесообразности технологии промораживания, метод компьютерного моделирования с помощью программных комплексов Ansys и Frost 3D Universal.

1. Обзор литературы

Решением проблем неустойчивости грунта начали заниматься еще в 19 веке. Такая необходимость возникла при строительстве промышленных объектов. Для обеспечения устойчивости грунта, на тот момент были предложены некоторые разработки по заморозке, силикатизации и цементации грунта.

Началом замораживания грунтов можно считать естественную заморозку отрицательной температурой для проходки шурфов на золото в Сибири (1893 г.). Принципом данного подхода было воздействие атмосферного воздуха на водоносные породы при низких температурах.

Применение жидкого азота для обеспечения устойчивости грунта, предложил Трупаков Н.Г. в работах «Замораживание горных пород при проходке стволов» (1959 г.) и «Замораживание грунтов в строительстве» (1970 г.). Данный метод использовался при возведении различных подземных сооружений, фундаментов зданий противодиффузионных завес. [26,27]

Просматривая информацию, содержащуюся, как в отечественной, так и в зарубежной литературе по особенностям искусственного замораживания грунтов, необходимо отметить, что проблема замораживания грунтов наиболее изучена в шахтном строительстве.

Свойства замороженных грунтов изучаются в работах Б.А. Картозия, С.С. Вялова, П.М. Тютюнникова, Н.А. Цытовича, Н.К. Пекарской, П.А. Шуйского, Д. Глена и др. Сделаны соответствующие выводы о том, что характеристики прочности и деформации грунта зависят от строения, состава, температуры, уровня напряжения и времени воздействия нагрузки. [8,15,24,32]

Расчеты прочности ледогрунтового ограждения отражены в работах Ю.М. Либермана, С.С. Вялова, А.Д. Мишедченко, Ф.А. Карасева, О. Домке, Р. Шулински и др. [8, 9, 15, 19, 23, 24]

Наиболее тщательно расчеты температурного процесса замораживания представлены в работах Е.М. Степановой, Н.Г. Трупака, Г.М. Крastoшевского, П.А. Шпарбера, Н. Тобе, И. Кухинда, С.А. Съедина и др. [42, 43, 44, 45, 46] Технология замораживания фильтрующих грунтов изучена в работах Л.Д. Прозорова, Л.К. Сильвестрова, К.Г. Корнева, Т. Такачи и др. [38, 39, 40, 41]

Контроль процесса замораживания в значительной степени содержится в работах В.С. Ямщикова, А.А. Роменского, М.И. Фридмана, П.М. Тютюнника, В.М. Варенышева, И. Л. Баркана и др. [48, 49, 50]

Разработка безрассольных способов замораживания грунтов исследована в работах В.Ф. Мозгового, Н.Г. Трупака, С.Е. Дукаревича, М.Н. Шуплика, Дж. Островски и др.

Подробная характеристика торфов, болот, особенностей поведения торфяной залежи, применительно к сооружениям на болотах трубопроводов и других объектов транспорта нефти и газа, а также результаты экспериментальных исследований по определению сопротивления грунта продольно-поперечным перемещениям трубы в условиях болот и обводненных грунтов представлены в работе Л.А. Димова, Е.М. Богушевой.

Основные сведения о природе грунтов, показателях их физических и механических свойств, а также напряженно-деформированное состояние и закономерности поведения грунтов под нагрузками изучено в работе С.Б. Ухова, В.В. Семенова, В.В. Знаменский и др.

Вопросы взаимодействия сооружений с грунтом, методы обеспечения их надежности в слабых и сильнодеформируемых грунтах, поведение грунтов при приложении к ним различных нагрузок, а также механики переувлажненных и мерзлых грунтов изложены в работе П.П. Бородавкина. [3]

Методы расчета толщины стен упруго-пластичных и вязко-пластичных ледопородных ограждений, а также прочности замораживающих скважин, вопросы теплообмена в замораживающих колонках и способы устранения деформаций замораживающих труб представлены в работе Н.Г. Трупака. [25]

К современной практике применения искусственной заморозки грунтов, относится сооружение ледяной стены вокруг японской атомной электростанции «Фукусима-1» (2014-2016 гг.). Целью создания ограждения было предотвращение распространения радиоактивной воды из охлаждающих бассейнов станции в проточные речные воды и океан. [16]

Изначально ликвидаторы аварии построили металлическое ограждение, но со временем вода накапливалась и просачивалась сквозь него. Поэтому возникла необходимость в создании более эффективного защитного барьера, при котором выход радиоактивных элементов был бы минимальным. Так инженеры, приняли решение задействовать технологию искусственного замораживания грунта. По периметру станции установили систему замораживающих грунт труб, по которым циркулирует специальная охлаждающая жидкость. Протяженность ледяного ограждения составляет 1,5 километра, а ширина 30 метров.

Данная технология промораживания грунта оказалась эффективным методом решения проблемы. Ледяная стена вокруг атомной электростанции позволила в значительной степени снизить попадание грунтовых вод. Даже в случае отсутствия электроэнергии, ограждение будет выполнять свои функции долгое время. [29]

1.2 Укрепление стенок ремонтного котлована в грунтах со слабой несущей способностью

Как показывают статистические данные, продолжительность аварийно–восстановительных работ на магистральных нефтепроводах, проложенных в сложных условиях трассы, в частности, в болотистых и переувлажненных грунтах, в среднем в 2–3 раза больше, а экономический ущерб в 3–4 раза выше, чем на трубопроводах того же диаметра, проложенных в устойчивых грунтах. Это объясняется тем, что аварии на магистральных нефтепроводах, проложенных в болотистых и переувлажненных грунтах, осложняется рядом специфических факторов, в том числе сложностью вскрытия поврежденного участка нефтепровода и последующим устройством ремонтного котлована. [10]

Для вскрытия таких участков требуются специальные технологии и технические средства.

Большинство болот, по которым проходят нефтепроводы, имеют мощность торфяного горизонта от 0,5 до 3,5 м. В этих условиях проведение ремонтно–восстановительных работ с созданием ремонтного котлована по обычной технологии в весенне–летний период, а иногда круглый год, не представляется возможным. Значительная водонасыщенность торфов, наличие поверхностных вод приводят к обрушению стенок ремонтного котлована и заполнению его болотной массой, трудно поддающейся откачке насосами. [15]

Поэтому специфической особенностью разработки котлованов в заболоченных и переувлажненных грунтах является необходимость укрепления их стенок. Укрепление стенок ремонтного котлована и создание герметичности – наиболее трудоемкие и длительные операции. Для укрепления стенок котлованов иногда используют деревянные сваи.

После уточнения места аварии производят разметку границ ремонтного котлована и разработку его одноковшовым экскаватором. Затем по периметру ремонтного котлована в два ряда выполняют забивку свай. Сваи

забивают вплотную друг к другу, а расстояние между рядами составляет 15–20 см. После забивки между рядами свай подсыпают глину и утрамбовывают ручными трамбовками. Данный способ имеет низкую производительность из-за применения в большом объеме ручного труда. Так, аварийно-восстановительная бригада из 6 человек затрачивает следующее время на ограждение котлована размером 6х6 м: на забивку ограждающих элементов 42–44ч, на подсыпку и утрамбовку глины 40–44 ч. [1]

В промышленном и гражданском строительстве существует много способов, методов, устройств для погружения и извлечения свай, шпунтов. Но ни один из них не может быть применен для укрепления стенок котлована при ремонте нефтепроводов, проходящих по болотистой местности, по следующим причинам:

Аварийно-восстановительные работы на магистральных нефтепроводах выполняются в срочном порядке;

Место производства работ, как правило, значительно удалено от развитых промышленных баз;

В районе аварии существует повышенная взрыво- и пожароопасность из-за разлитой нефти, отсутствуют прочные дороги и площадки для подъезда и работы транспорта и аварийных технических средств;

Большой вес шпунтов и оборудования для их забивки создает дополнительные трудности при доставке к месту аварии.

Иногда стенки котлована крепят деревянными шпунтами, которые с одной стороны имеют паз, а с другой – соответствующий ему выступ. При забивке шпунтов в ряд по периметру котлована выступ одного шпунта входит в паз другого, т.е. создается сплошная плотная стенка. Для забивки деревянных шпунтов в качестве ударного механизма используется импульсный пневмопробойник типа ИП 4603Ф, называемый «кротом». Недостаток установки тот же, что и при забивке металлических шпунтов: искривление стенки, приостановка погружения шпунта при встрече с древесными остатками, которых множество в болотной массе. С учетом этих

факторов было создано устройство УП–1, где погружение шпунтов осуществляется с помощью гидроцилиндров. В этом случае, встречая на своем пути древесные остатки, шпунт их срезает. Для того чтобы не происходило отклонение стенки от вертикали, шпунты перед погружением собирают на поверхности земли в стенку по всем сторонам будущего котлована. Вдавливание шпунтов происходит с помощью механизма погружения, который последовательно вдавливает каждый шпунт на глубину хода поршня гидроциклона (800–900 мм), обкатываясь по раме по всему периметру котлована. Шпунты, находясь в замковом соединении друг с другом, имеют строго вертикальное направление и сохраняют его до проектной отметки. Замки обеспечивают герметичность ограждения. Устройство для погружения шпунтов УП–1 позволяет укреплять стенки ремонтного котлована глубиной до 3 м на болотах I типа.

Укрепление стенок ремонтного котлована возможно путем ввода в болотную массу пенополиуретановой композиции.

В зоне повреждения участка трубопровода в болотную массу погружают вертикальные трубы, которые подключают к гребенке, по которой в трубы под давлением из емкости подают композицию пенополиуретана. Жидкая фаза композиции, вытесняя болотную массу в зоне повреждения, через 10–12 мин полимеризуется, увеличиваясь в объеме.

В образованном твердом массиве пенополиуретана разрабатывают котлован, например, путем вырезания мотопилами отдельных блоков с последующим их удалением.

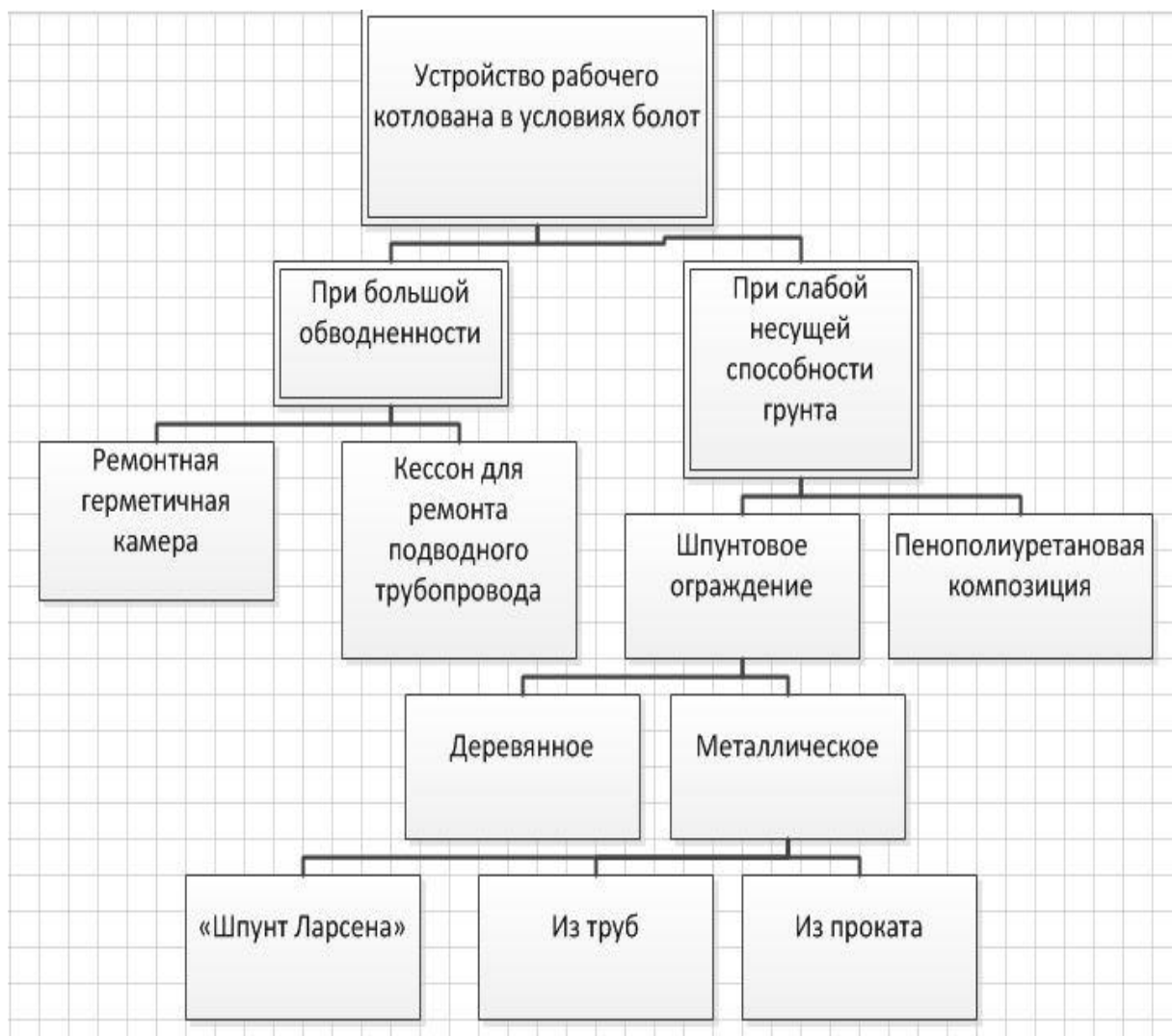


Рисунок 1.1 – Устройство рабочего котлована в условиях болот

1.3 Сооружение ремонтного котлована с применением герметичных камер

В сильно переувлажненных грунтах и на болотах III типа создание ремонтного котлована с помощью шпунтовых ограждений невозможно. Для этих целей используются различные конструкции так называемых сухих доков, кессонов и герметичных камер.

В институте ИПТЭР разработана ремонтная герметичная камера РГК, которая предназначена для создания котлована на трубопроводах диаметрами 530, 720, 820, 1020 и 1220 мм, проложенных на болотах I, II, III типов. Камера РГК представляет собой установку с гидравлическим приводом, которая монтируется с помощью крана на поврежденном участке

нефтепровода и образует ремонтный котлован. Корпус камеры состоит из двух шарнирно–соединительных челюстей, которые смыкаются с помощью гидроцилиндров, обхватывая трубопровод торцевыми частями и образуя герметичность полость, открытую сверху. При необходимости борта камеры наращиваются одной или двумя приставками. Камера снабжена анкерными стойками, которые завинчиваются в грунт и придают ей устойчивость относительно трубопровода, а также противодействуют выталкивающей силе, создаваемой находящейся снаружи камеры жидкостью. Через коллекторы с приямками достигается полная откачка торфяно–водяной смеси из внутренней полости камеры.

К месту аварийно–восстановительных работ на болоте камеру доставляют на непотопляемых санях, которыми оборудована камера.

Общее время подготовки камеры из транспортного положения рабочей бригадой из 5 человек составляет 2 ч, демонтажа – также 2 ч. Испытания показали, что камера РГК позволяет создавать ремонтный котлован на болотах, обводненных участках трассы при глубине заложения трубопровода до 2,2 м. Внутри камеры можно проводить работы по ликвидации мелких дефектов трубы; операции, связанные с заменой дефектного участка, включающие вырезку этого участка трубрезными машинками (или другими известными способами), подгонку, центровку и сварку новой «катушки».[4]

Разработано также устройство, которое позволяет проводить ремонтные работы на обводненных и заболоченных участках магистральных нефтепроводов. Устройство состоит из двух частей, сваренных из листовой стали толщиной 1,5–2 мм. Верхняя часть выполнена в виде прямоугольника, нижняя имеет закругленную форму. На внутреннюю поверхность устройства наварены ребра жесткости из полосовой стали. Нижняя часть несколько меньше верхней, так как по месту разъема должна входить в верхнюю. На место аварии нижняя и верхняя части доставляются вертолетом, проушины служат для закрепления троса. Для удобства эксплуатации на внешнюю часть приварены скобы и направляющие.

Нижнюю часть заводят под поврежденный участок трубы с помощью водолазов и затем с помощью троса с винтовым зажимом закрепляют на трубе. Верхнюю часть с помощью направляющих соединяют с нижней и закрепляют болтами. Торцевой разъем также скрепляют болтами. После этого устройство оказывается прикрепленным к трубе, и винтовой зажим снимают.

Из собранного устройства откачивают воду, в нижнюю часть укладывают деревянный настил.

Боковое уплотнение выполнено в виде шипа–паза, уплотняющий материал – резина или сальниковая набивка в виде жгута. Торцевое уплотнение выполнено в виде буксы, упирающейся через сальник в нажимной упор. [4]

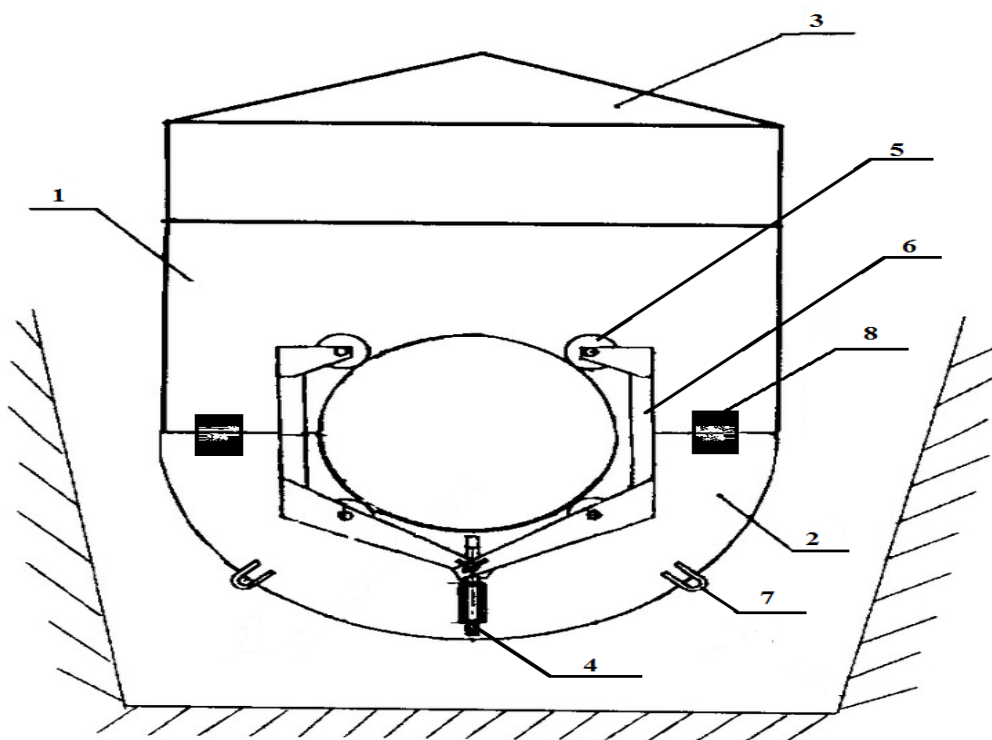


Рисунок 1.2 – Камера ремонтная поворотная (вид с торца)

1 – короб камеры; 2 дно камеры; 3 – навес камеры; 4 винт; 5 – колесо; 6 – захват; 7 – монтажная петля; 8 – направляющая пластина.

Камера предназначена для подготовки «сухого котлована» на ремонтируемом участке трубопровода при проведении аварийно–

восстановительных работ. Основное применение поворотной камеры является использование на трубопроводе в топких, болотистых местах и поименной части ЛЧ МН. При затрудненных условиях монтажа ремонтной камеры в высокообводненных участках привлекается водолазный персонал для сборки и монтажа на трубопроводе ремонтной камеры.

Технические характеристики КРП 520–1220.00.000 (ТРМЗ г. Тюмень)

Применение на трубопроводах от D 530 – 1220мм.

Исполнение – цельносварной каркас высотой от оси трубы, мм – 1400мм

Таблица 1 – Габаритные размеры

L	2000 мм	4500 мм
B	2200 мм	2760 мм
H	4000 мм	4250 мм

Таблица 2 – Размеры рабочей части камеры ремонтной

Расстояние между трубой и стенкой камеры ремонтной, мм	700–800
Просвет между трубой, мм	600
Длина обслуживаемого участка трубопровода, м	3500
Масса камеры ремонтной в сборе, кг	1000–2000
Температура окружающей среды, не ниже, °С	– 40

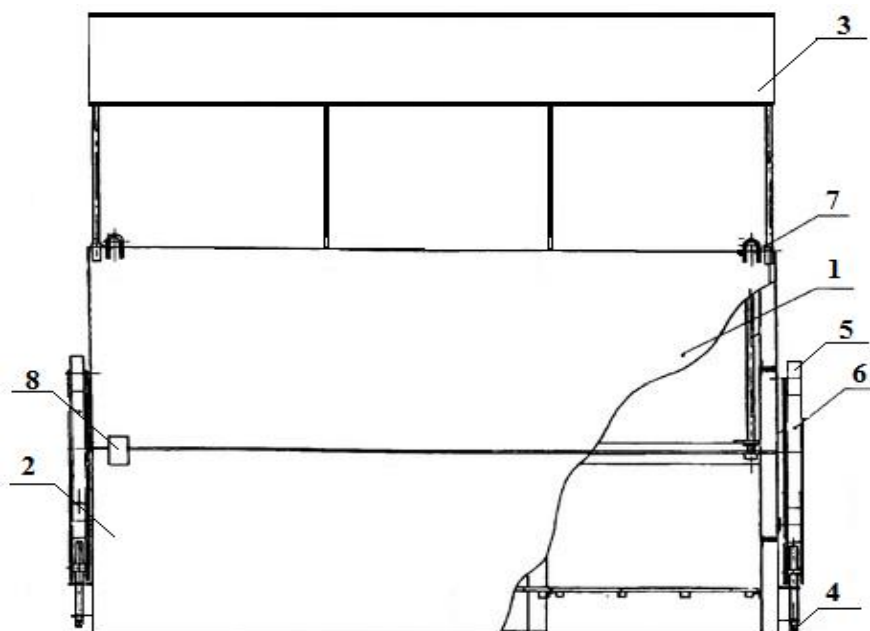


Рисунок 1.3 – Камера ремонтная поворотная (вид сбоку)

1 – корб камеры; 2 дно камеры; 3 – навес камеры; 4 винт; 5 – колесо; 6 – захват; 7 – монтажная петля; 8 – направляющая пластина

1.4 Монтаж камеры

Камера транспортируется на место проведения аварийно – восстановительных работ грузовым транспортом на штатной подставке, соответствующей грузоподъемности и габаритам, исключая повреждение ремонтной камеры при транспортировке.

Перед монтажом ремонтной камеры тщательно осмотреть корпус и все части камеры, уплотняющие соединения, ролики, резьбовые соединения на наличие повреждений и неисправностей, при обнаружении устранить все неисправности. Механизированным способом максимально выбрать грунт из котлована по размерам ремонтной камеры и подтрубное пространство для беспрепятственного поворота дна ремонтной камеры вокруг трубы. [4]

Дно монтируется при помощи ПГМ, на верхнюю часть трубы в зоне запланированного ремонта. После опускания дна камеры на верхнюю часть нефтепровода установить вороток на винт и вращением против часовой

стрелки свести захваты до соприкосновения с трубой колес. Колесами дно центрируется и зажимается на ремонтируемой трубе. Ту же операцию провести с другой стороны камеры. Для предотвращения падения, или поворота, дно находится в поддерживающем застропованом положении с незначительной натяжкой ГПМ.

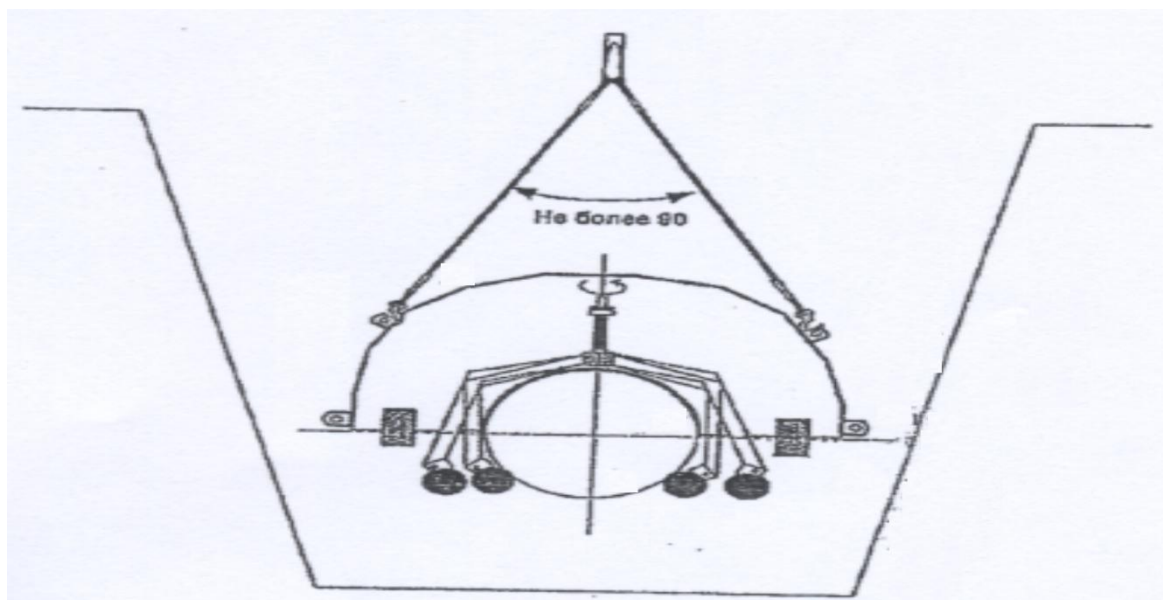


Рисунок 1.4 – Монтаж ремонтной поворотной камеры

Предварительно перед поворотом дна камеры продевают под трубой нефтепровода петлевые стропы с карабинами при помощи багров, щупов. Петлевые стропы крепятся за две монтажные петли на дне камеры.

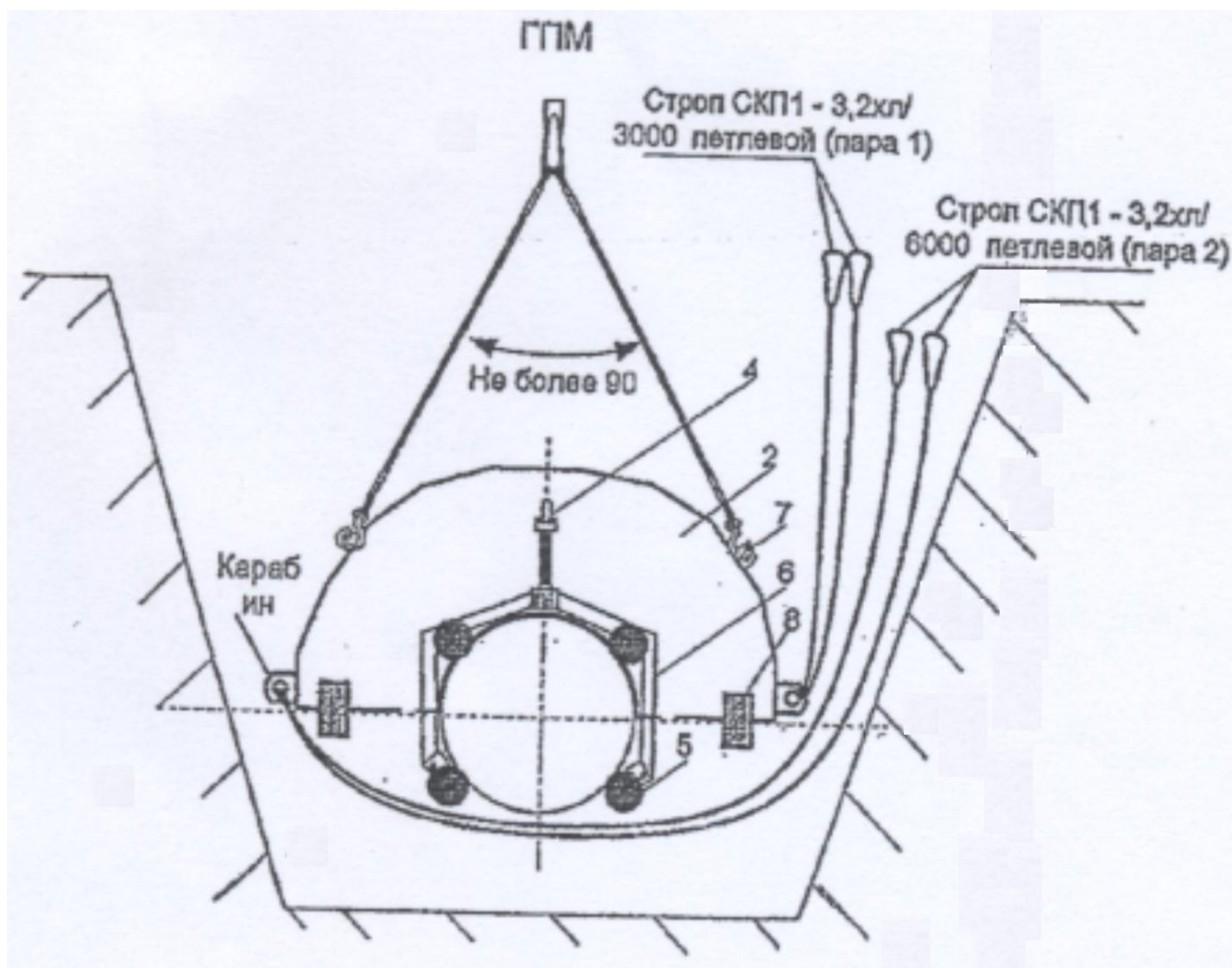


Рисунок 1.5 – Монтаж ремонтной поворотной камеры

Перед поворотом дна ремонтной камеры снимают поддерживающие стропы с монтажной петли и начинают поворот камеры за стропную пару.

Для поворота дна камеры вокруг оси трубопровода возможно применение экскаватора для вспомогательных действий. Начинается натягивание строп 2 после проворачивания камеры на 30–40 градусов пары строп снимаются.

Окончательный поворот и установка в рабочее положение дна ремонтной камеры осуществляется попеременными действиями – нажатием ковша экскаватора и подтягиванием пары строп 2 ГПМ. При повороте дна камеры заедания и застревания не допускается.

После поворота дна камеры под трубопроводом, ГПМ устанавливается верхняя часть короб камеры, совместив крепежные отверстия верхней части и направляющие пластины на коробе с дном стянуть их болтами. Визуально обследовать уплотнения, плотность охвата уплотнения с трубопроводом.

Места протечек уплотнить герметизирующими материалами в торцевой части камеры и по периметру камеры. Плотность уплотнений камеры обеспечить герметичностью с поступлением воды в камеру не более $\text{м}^3/\text{ч}$.

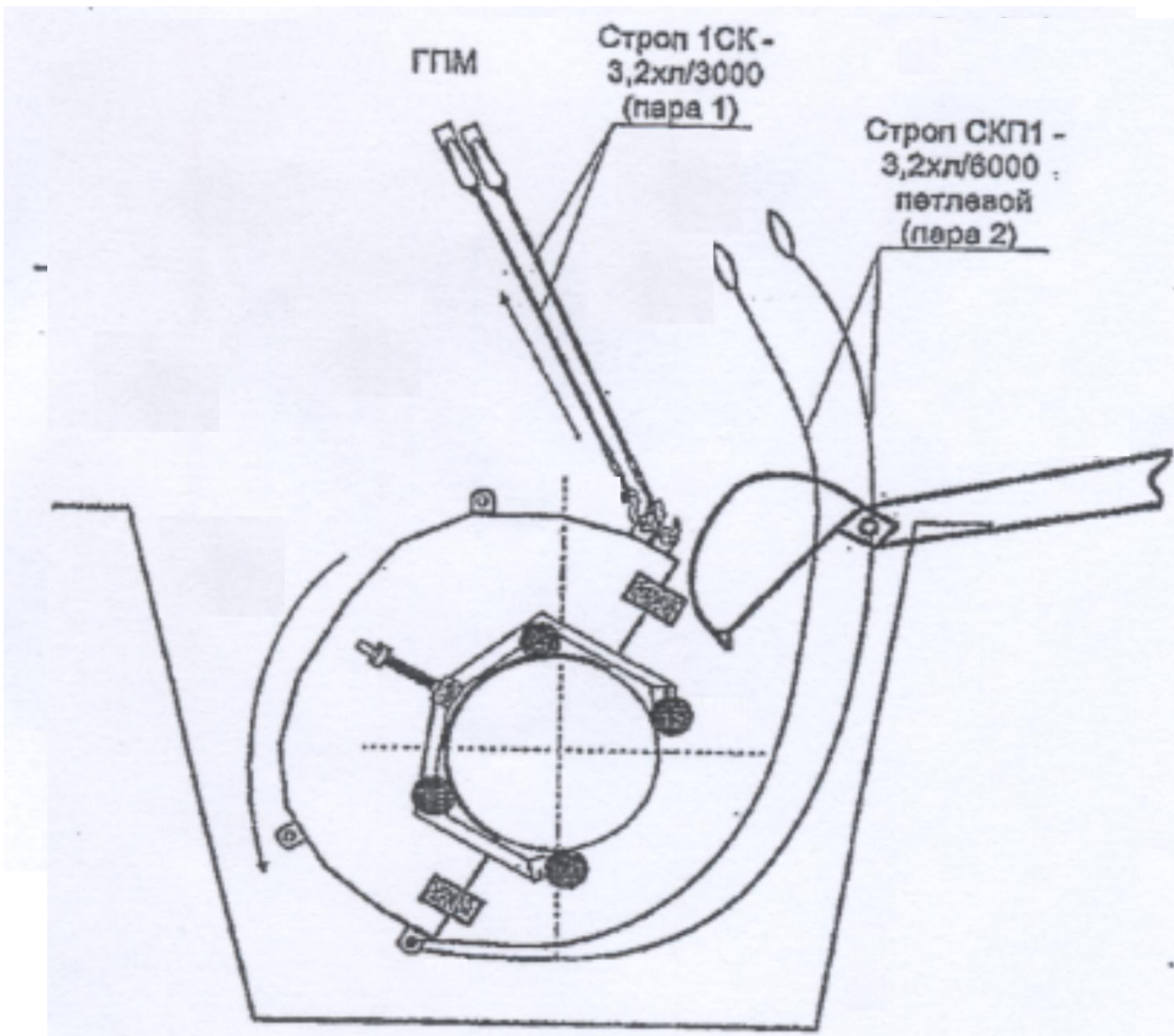


Рисунок 1.6 – Поворот ремонтной камеры при помощи грузоподъемного механизма

Для обеспечения нормативных рабочих мест внутри камеры установить откачивающие устройства для откачки воды из ремонтной камеры, а также установить штатные трапы, лестницы, навес камеры. Ремонтную камеру необходимо заземлить штатными заземляющими устройствами.

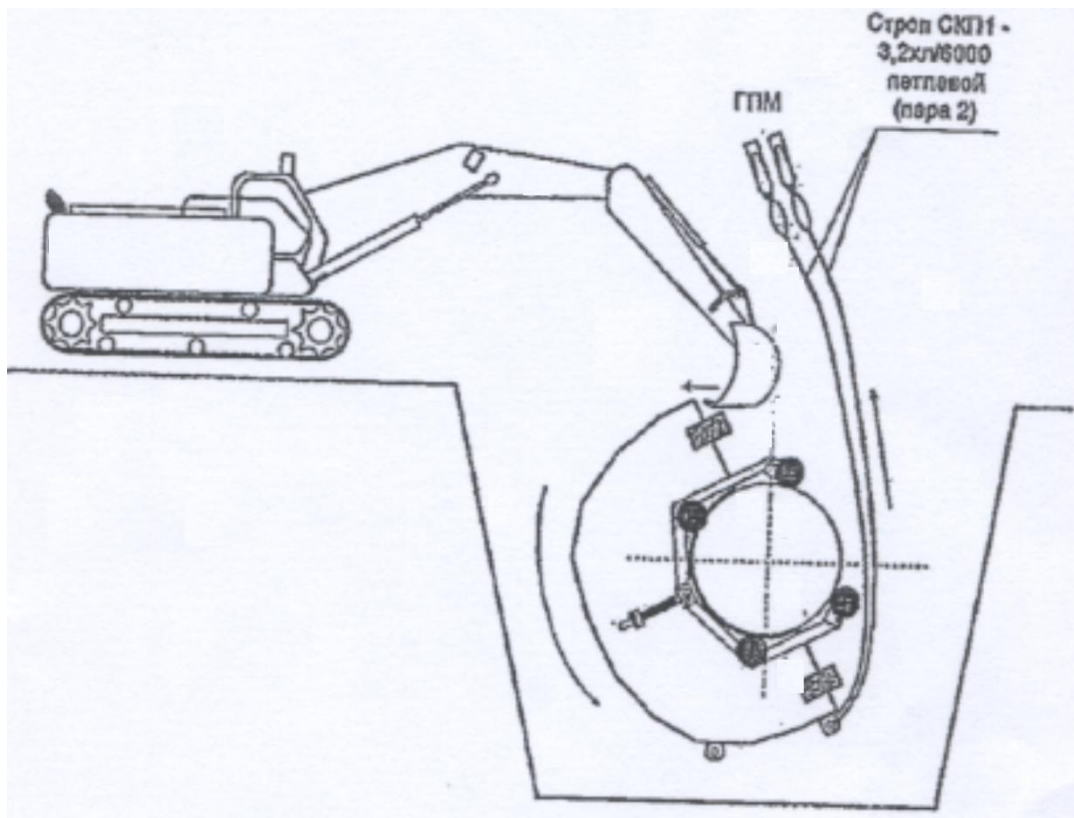


Рисунок 1.7 – Применение экскаватора для вспомогательных действий

Перед демонтажем ремонтной камеры максимально выбрать грунт из котлована, для недопущения нагрузки на элементы ремонтной камеры перед обратным поворотом дна.

Рисунок 1.8 - Окончательный поворот и установка в рабочее положение

Для наименьшего сопротивления при поворачивании дна вокруг трубопровода нижнюю часть камеры заполнить водой. Демонтаж ремонтной камеры выполняется в обратной последовательности ее сборки.

1.5 Шпунтовое ограждение

Перед началом земляных работ эксплуатирующая организация обозначает опознавательными знаками и указателями ось ремонтируемого нефтепровода, место дефекта, глубину его залегания, места расположения сварных соединений и трубной арматуры, коммуникации, находящиеся вблизи производства работ.

При обследовании участка эксплуатирующей организацией и аварийно–восстановительной бригадой определяется метод проведения работ, состав сил и средств, для оперативного выполнения полного комплекса работ по подготовке и обустройству рабочего котлована с обеспечением безопасного производства работ на весь период аварийно–восстановительных работ на разгерметизированном участке МН.

Выполнение земляных работ выполняют с помощью землеройной техники (экскаватор) на болотном ходу с применением не менее 3х сланей для обеспечения устойчивости и безопасного перемещения экскаватора в ходе выполнения работ.

В ходе земляных работ ведется постоянный контроль места нахождения нефтепровода при помощи щупа и шурфования вручную. При прокалывании грунта щупом определяется точное местонахождение и глубина заложения нефтепровода, обозначаются вешками края нефтепровода,

При проведении аварийно–восстановительных работ в условиях болот и высокой обводненности, слабой несущей способности грунтов, применяют шпунтовое ограждение типа с металлическими шпунтами. [6]

Таблица 3 - Технические характеристики шпунтового ограждения

Масса, кг	2500
Балка ШК 01.100, шт	2
Балка ШК 01.200, шт	2
Стойка ШК 01.300, шт	4
Шпунт ШК 01.400, шт	<i>определяется заказчиком</i>

Шпунтовое ограждение предназначено для недопущения изломов, наклонов, сдвигов, смонтированных по периметру и погруженных в грунт металлических шпунтов. Данная конструкция обеспечивает безопасное выполнение аварийно–восстановительных работ на заболоченных и обводненных участках нефтепровода.

Шпунтовое сборно–разборное ограждение состоит из металлических шпунтов четырех двутавровых балок. Стойки изготавливают из трубы D_y 159 мм, нижняя часть делается под конус. Имеют три технологических отверстия для установки удерживающего пальца. В двутавровую балку вваривается патрубок D_y 219 мм, для центрации стойки при установке. Так же имеются монтажные петли для строповки.

Монтаж стоек и шпунтового ограждения проводится механизированным способом с применением вибропогружателей и методом погружения экскаватором. Предпочтительный метод погружения шпунта, применение вибропогружателя на базе экскаватора. При использовании вибропогружателя сводится к минимуму износ рабочей стрелы экскаватора.

Перед началом монтажных работ проводится точное определение места расположения коммуникаций сторонних организаций, нефтепровода при помощи металлического замерного щупа, для определения оси трубопровода, глубины его залегания и для обозначения боковых стенок трубы. Проводится разбивка границ котлована, относительно оси трубопровода и места дефектного участка нефтепровода. В зависимости от размера ремонтного котлована, размеры ограждения могут быть 6000x8000мм и 5000x7000мм, за счет дополнительных отверстий в двутавровых балках. После разбивки границ котлована при помощи экскаватора погружается первая стойка шпунтового ограждения. В технологическое отверстие в стойке вставляется удерживающий палец. На стойку, отверстием с патрубком монтируется двутавровая балка $L=8000$ мм и укладывается параллельно нефтепроводу. Во второе отверстие в двутавровой балке, вставляется вторая стойка и погружается в грунт, после погружения стойки вставляется удерживающий палец. На вторую стойку одним концом с патрубком, монтируется вторая двутавровая балка $L=6000$ мм и укладывается вдоль торцевой стенки котлована, перпендикулярно трубопроводу. Дальнейший монтаж ограждения производится в той же последовательности, до замыкания контура

ограждения на первой стойке, с сохранением элементов правильного прямоугольника. [6]

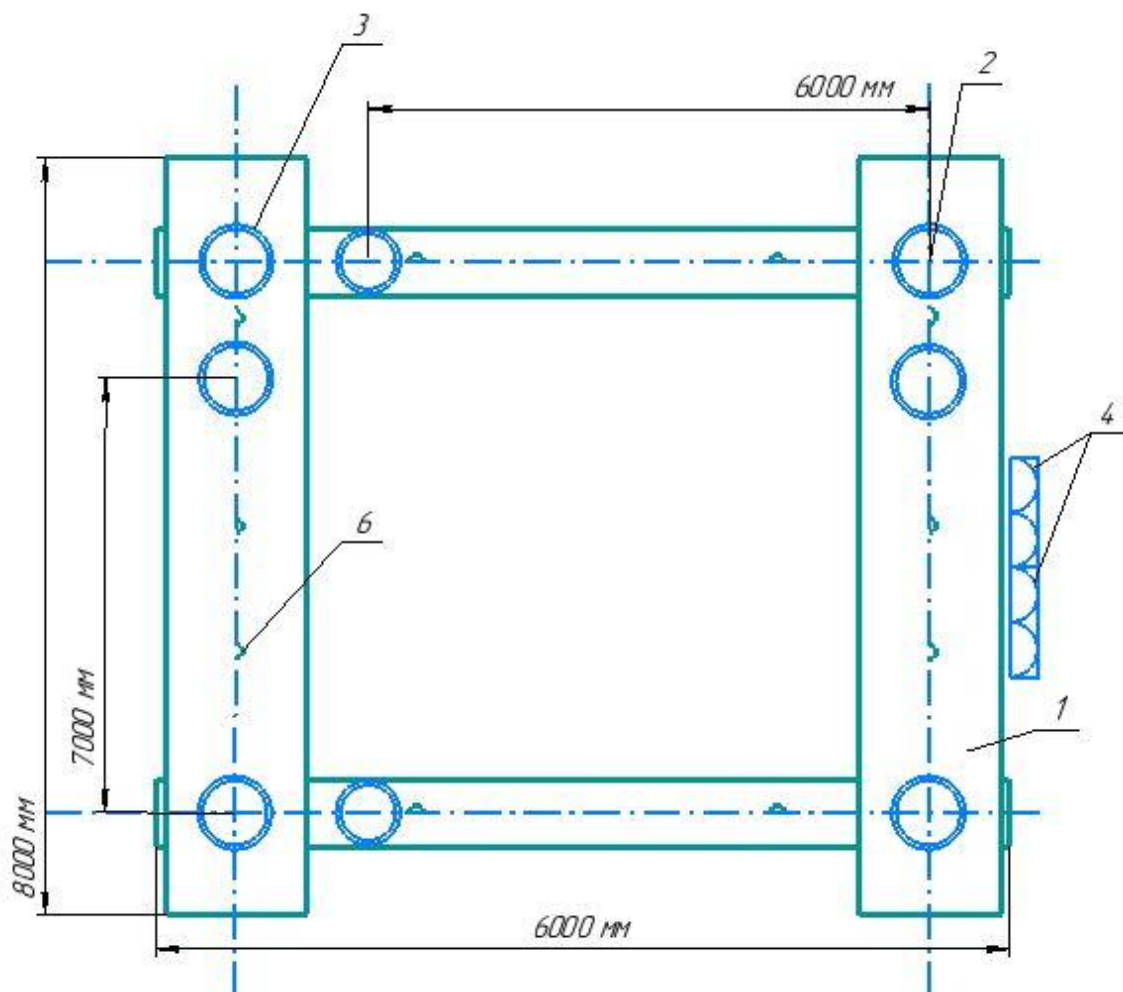


Рисунок 1.9 - Шпунтовое ограждение вид сверху

1 – двутавровая балка; 2 – стойки из трубы Ду 159 мм; 3 – сваренный патрубок Ду 219 мм в двутавровую балку; 4 – шпунт; 6 – монтажная петля.

После установки контура ограждения проводится монтаж шпунтов при помощи вибропогружателя, или экскаватора, методом погружения. Монтаж шпунтов производится с применением петлевых строп с карабинами. Во избежание отклонения шпунта от вертикального положения применяются оттяжки и деревянные шесты с раздвоенным концом, в виде рогатины. Шпунты погружаются последовательно вдоль контура ограждения с внешней стороны выпуклой стороной наружу.

В случае затруднения погружения шпунта в грунт проводится частичная выборка грунта под его основания.

Металлические шпунты погружаются с двух сторон, параллельно нефтепроводу. Монтаж шпунтов с торцовых сторон котлована, производится после частичной раскопки котлована, для обеспечения безопасного расстояния до стенок трубы, при погружении шпунтов на торцевых сторонах котлована. Стойки и шпунты должны выступать над бровкой котлована на 15 см.

Для предотвращения оползания грунта и торфяной массы в рабочий котлован над верхней образующей трубы, на торцевых сторонах котлована, применяется погружение шпунта боковой плоскостью в горизонтальном положении.

После завершения монтажа шпунтов производится раскопка котлована до рабочей глубины. В котловане устраивается приямок для сбора грунтовых вод. Дно котлована застилается деревянными настилами, которые выкладываются на бревна, брусья и пр. В котлован устанавливаются лестницы.

В случае поступления грунтов по дну котлована, подработка котлована для необходимой отметки производится механизированным способом (экскаватором, вручную). При поступлении поверхностных, или грунтовых вод в котлован, принимаются меры по понижению уровня грунтовых вод откачкой водоотливными насосами из приямка.

Демонтаж металлических шпунтов и шпунтового ограждения производится в обратном порядке с помощью экскаватора и грузоподъемного механизма.

1.6 Шпунт металлический

Технические характеристики металлического шпунта

1. Сегмент трубы, габаритные размеры НхL – 1000х4500х6000мм.
2. Масса, кг. 1000–1500

Применение:

Металлический шпунт предназначен для укрепления стенок котлована, предотвращает обрушение грунта, торфа в рабочий котлован и затягивание котлована торфяной и грунтовой массой. Шпунт монтируется по периметру с внешней стороны шпунтового ограждения.

Металлические шпунты представляют собой две имеющие вогнутости пластины, сваренные между собой, так же изготавливаются в одиночном исполнении. В нижней части шпунт выполняется под конус. В верхней части устанавливается швеллер, или уголок для распределения нагрузки при погружении. Для строповки делаются два технологических отверстия. Шпунты изготавливаются размерами: $L = 4500\text{--}6000\text{мм}$. [6]

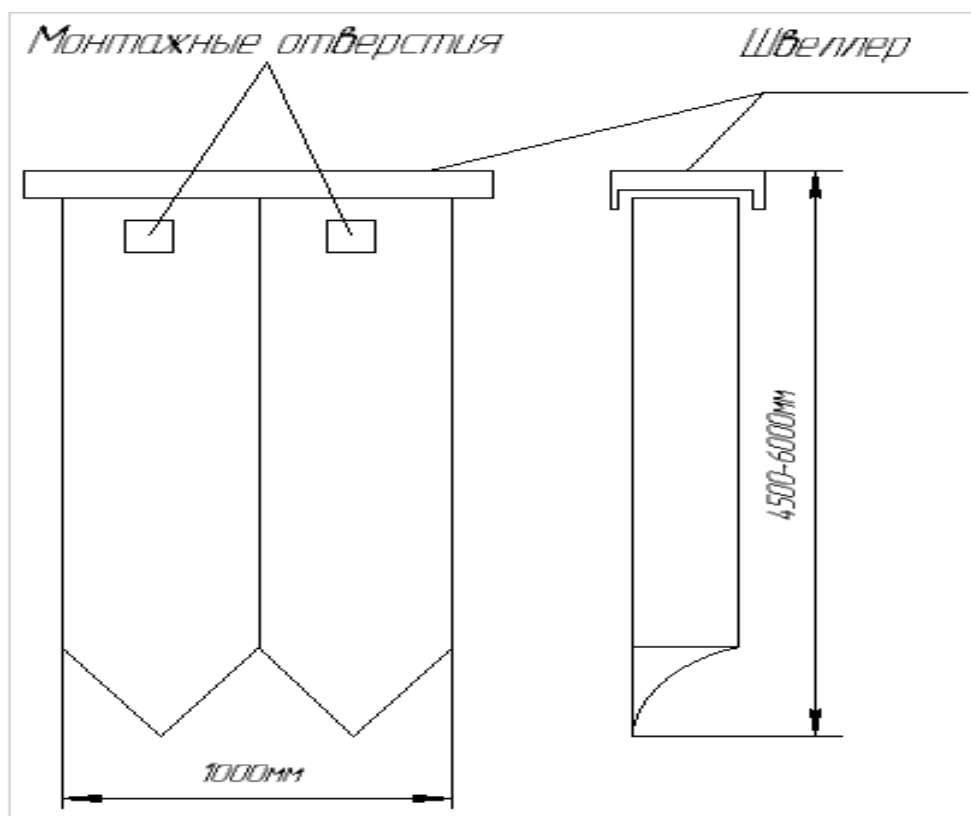


Рисунок 1.10 - Шпунт металлический

2. Методы повышения устойчивости грунтов

Увеличение устойчивости грунта заключается в изменении его строительных свойств, применяя различные физико–химические методы. При изменении свойств грунта, происходит увеличение его прочности, уменьшение сжимаемости и водонепроницаемости. По глубине крепления грунтов обычно выделяют поверхностный способ, при котором закрепление происходит до 1 метра и глубинный. При поверхностном способе грунт предварительно разрыхляют, затем перемешивают с вяжущими компонентами и уплотняют. Под глубинным закреплением подразумевается обработка грунта без нарушения его естественного сложения путем инъекции закрепляющих материалов, термообработки и замораживания.



Рисунок 2.1 -

Для увеличения несущей способности грунтовых оснований применяют следующие способы искусственного закрепления:

- Химический (цементация, битумизация);
- Электрохимический;
- Искусственное замораживание грунтов

2.1 Химический метод. Укрепление грунтов способом цементации

Цементацией называют процесс нагнетания жидкого раствора в грунт по ранее забитым полым сваям. Данный способ применяется для закрепления крупно- и среднезернистых песков, трещиноватых скальных пород путем нагнетания в грунт цементного раствора через иньекторы. Радиус закрепления грунтов в зависимости от типа грунта может колебаться от 0,3 до 1,5 м.

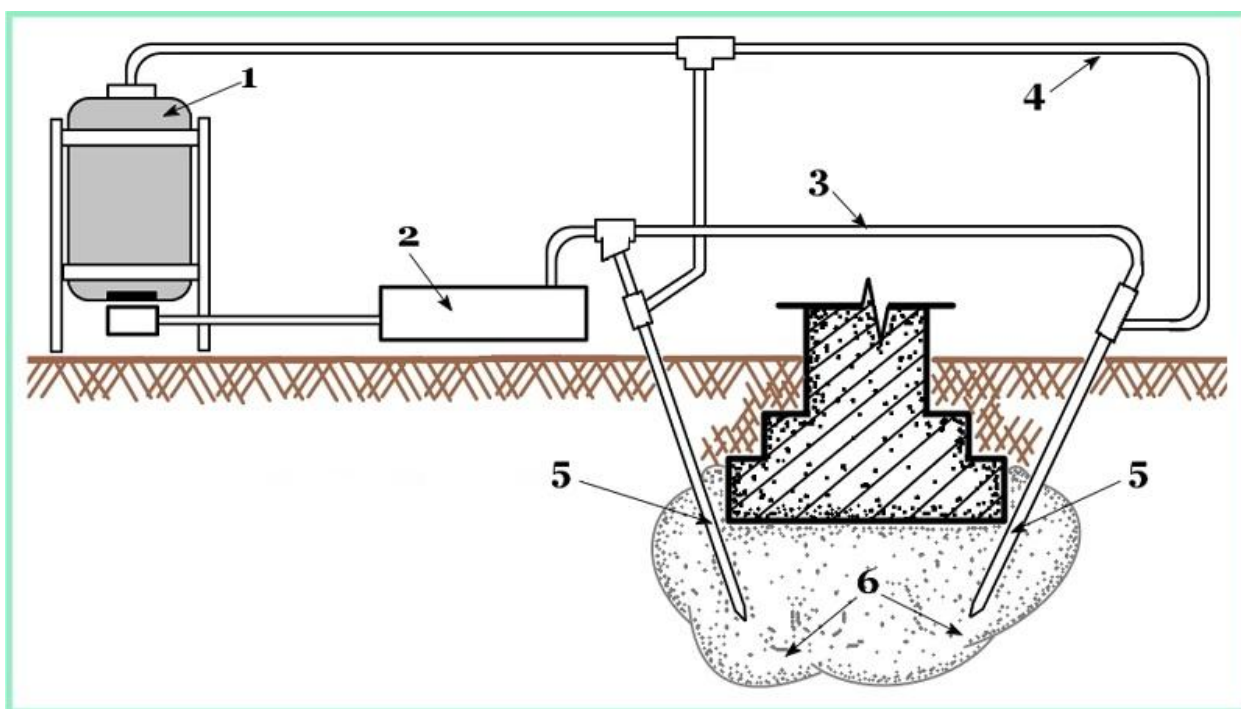


Рисунок 2. 2 – Схема цементации основания под фундаментом сооружения

1 – ёмкость для замешивания раствора, 2 – насос для раствора, 3 – напорный трубопровод, 4 – обратный трубопровод, 5 – иньекторы, 6 – укрепленный грунт.

Цементация осуществляется через трубы (иньекторы) по которым нагнетается раствор. Данная процедура осуществляется, если в основании грунта коэффициент фильтрации превышает 80 м/сутки.

Когда раствор попадает из трубы–иньектора в грунт, он быстро затвердевает, цементируя область воздействия. Для наибольшей эффективности соединения частиц грунта с раствором, необходимо перед началом цементации промыть скважину, используя чистую воду.

Цементирование на большую глубину осуществляется трубой диаметром 65 мм. Продолжительность эффекта цементирования зависит от наличия грунтовых вод и скорости их потока.

Широкое применение цементация грунтов получила при заполнении подземных выработок и карстовых пустот. В отдельных случаях к ней прибегают для организации отдельных фундаментов из закрепленного песка. [51]

Помимо традиционных технологий инъекционного закрепления цементацией, в настоящее время активно развивается технология струйной цементации грунтов. Данная технология позволяет более эффективно решать традиционные задачи в области подземного строительства и крепления стенок рабочих котлованов. Суть технологии заключается в применении высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором. При затвердевании раствора образуется новый материал – грунтобетон, который обладает высокими прочностными и деформационными свойствами.

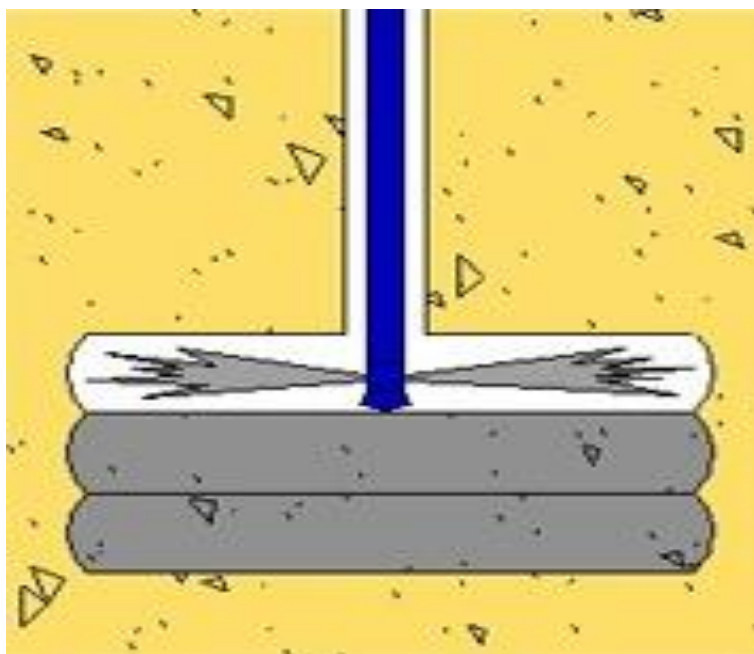


Рисунок 2.3 - Процесс струйной цементации грунтов.

В сравнении с традиционными технологиями инъекционного закрепления грунтов, струйная цементация обеспечивает крепление широкого диапазона грунтов. Также отличительной чертой данной

технологии является точность предсказания результатов укрепления грунтов, что позволяет уже на этапе проектирования и заключения подрядных договоров рассчитать геометрические и прочностные характеристики создаваемой подземной конструкции.

В качестве примеров использования струйной цементации грунтов, можно привести следующее:

- Укрепление слабых грунтов (строительство тоннелей и коллекторов);
- Ограждение котлованов в обводненных грунтах;
- Устройство противофильтрационных завес;
- Усиление фундаментов при реконструкции и надстройке зданий;
- Укрепление грунтов в основании плитных фундаментов;
- Повышения устойчивости склонов и откосов;
- Заполнение карстовых полостей в трещиноватых скальных грунтах.

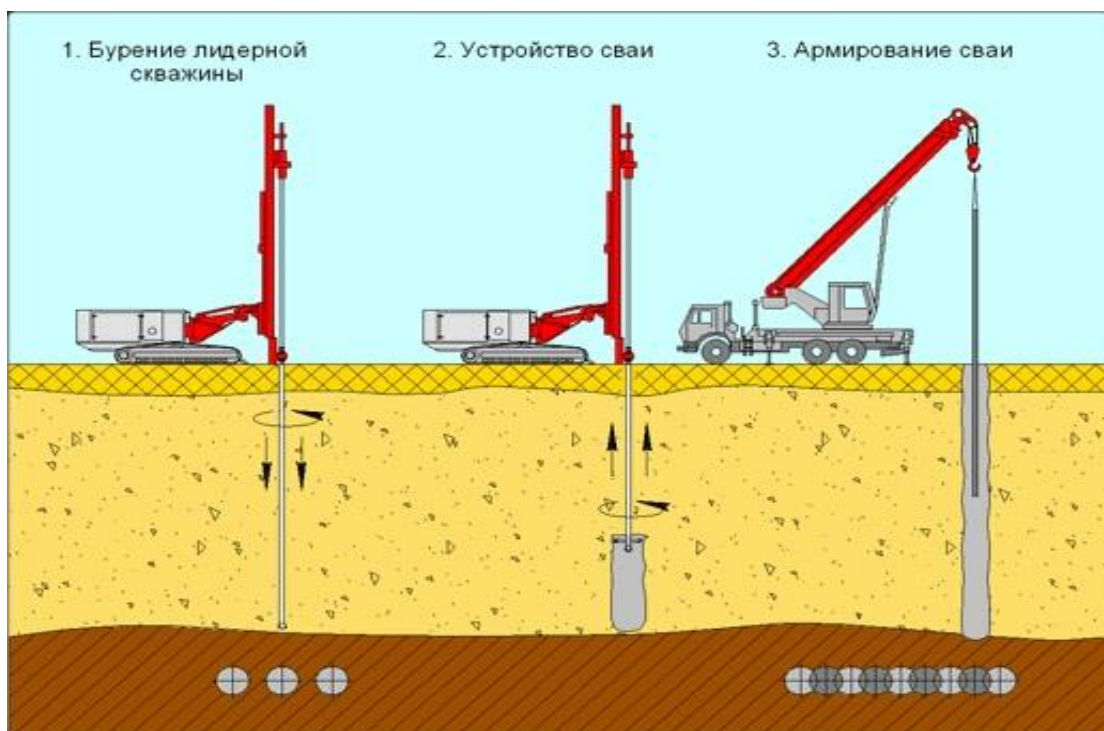


Рисунок 2.4 - Устройство грунтоцементных свай (jet свай)

Устройство грунтоцементных свай (Jet свай) выполняется в два этапа – в процессе прямого и обратного хода буровой колонны.

Во время прямого хода производят бурение лидерной скважины до проектной отметки. В процессе обратного хода в форсунки (сопла) монитора, расположенного на нижнем конце буровой колонны, подают под высоким давлением цементный раствор и начинают подъем колонны с одновременным ее вращением.

Следует выделить основные три разновидности технологии струной цементации грунта:

Однокомпонентная технология, при которой разрушение грунта производят струей цементного раствора и давлением нагнетания раствора 400–500 атм. Данная технология наиболее проста и требует минимального оборудования, но при этом следует отметить малый диаметр свай, что ограничивает применение в ряде грунтов.

Двухкомпонентная технология, особенностью которой, является использование энергии сжатого воздуха для увеличения длины водоцементной струи. По внутренним шлангам происходит подача цементного раствора, а по внешним – сжатый воздух.

Трехкомпонентная технология примечательна, использованием водовоздушной струи исключительно для размыва грунта и образования в нем полостей, которые позже заполняются цементным раствором. Преимущество данного варианта заключается в получении колонн из чистого цементного раствора. К недостатка следует отнести сложность технологической схемы, требующей применения тройных штанг и дополнительного оборудования.

2.2 Химический метод. Укрепление грунтов способом битумизации

При невозможности применения метода цементации по причине высокой скорости течения грунтовых вод, целесообразным становится использовать битумизацию грунтов.

Под битумизацией понимается искусственное заполнение трещин в горных породах расплавленным нефтяным битумом для изоляции грунтовых

вод. Применяется в гидротехническом и дорожном строительстве, при проходке шахт, при постройке фундаментов больших сооружений.

Битумизацию выполняют нагнетанием битума или асфальта в скважины, пробуренные в грунте основания или в кладке на требуемую глубину. Битумизация применяется при наличии в грунтах или кладке минерализованных вод и больших скоростей фильтрационного потока. Различают два способа битумизации – горячий и холодный (шире применяется способ горячей битумизации). После разбивки скважин, в соответствии с проектом, их бурят перфораторами или станками вращательного бурения, затем оборудуют.

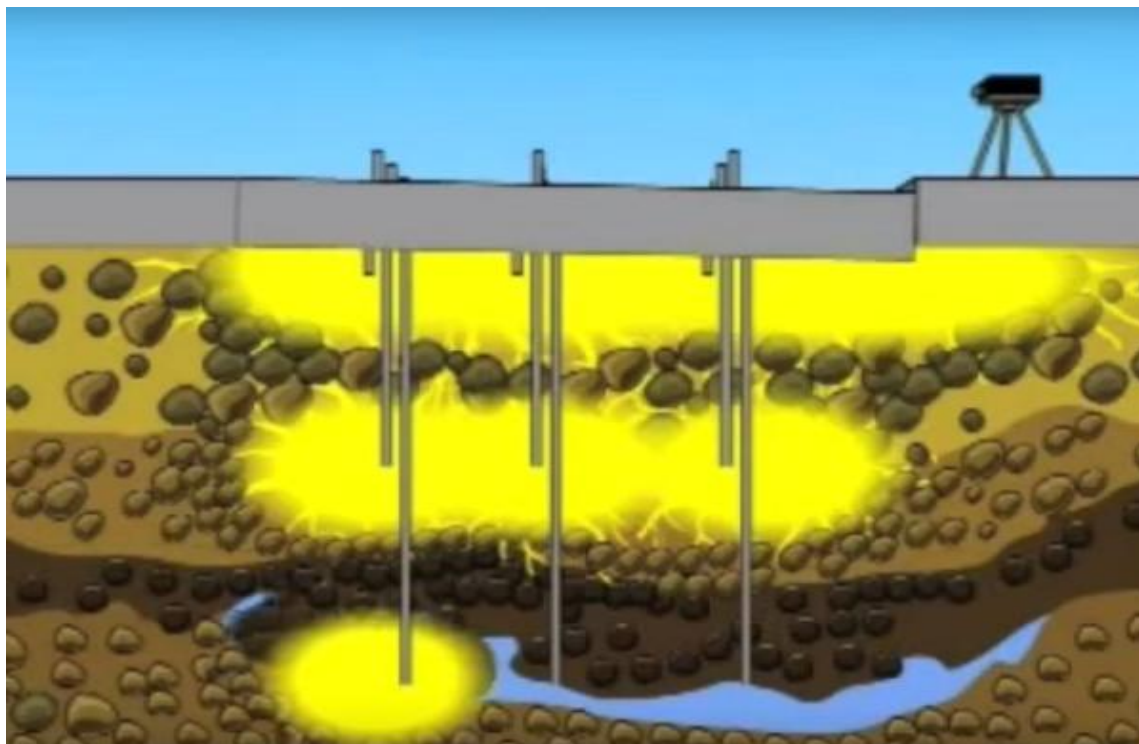


Рисунок 2.5 - Разбивка и бурение скважин под битумизацию

После разбивки скважин, в соответствии с проектом, их бурят перфораторами или станками вращательного бурения, затем оборудуют.

Для битумизации на глубину до 5 м скважину оборудуют по схеме, приведенной на рисунке 2.5.

Глубокие скважины устраивают по схеме, приведенной на рисунке 2.5. В этом случае перед битумизацией скважину предварительно прогревают паром или электронагревателями.

Температура нагнетаемого битума колеблется от 160 до 210 градусов и зависит от марки битума. Битум подогревают в котлах 2, из которых насосом 4 с давлением 50–80 атм и производительностью 500–800 л/ч по трубам нагнетают в скважину. Нагнетатели (инъекторы) 7 имеют перфорацию (отверстия 10, сквозь которые битум выходит в скважину).

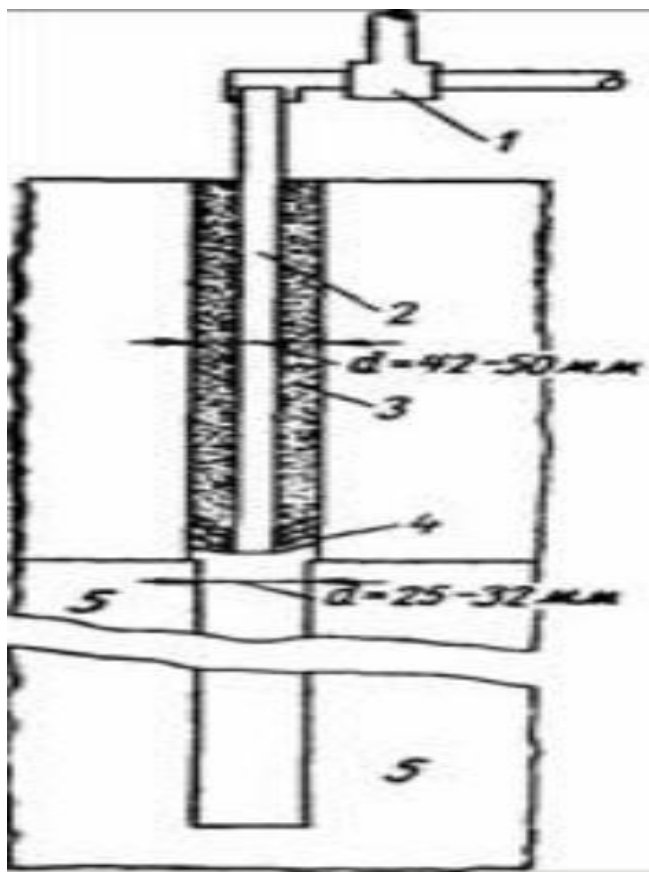


Рисунок 2.6 - Схема оборудования скважины глубиной не свыше 5 м для битумизации

1 – тройник; 2 – труба $d=25$ мм; 3 – заливка цементно-песчаным раствором; 4 – веревочный уплотнитель; 5 – битумизируемая зона.

В стволе скважины битум подогревают электронагревателями 9. Процесс битумизации должен проходить отдельными циклами с перерывами для твердения битума. Количество постепенно сокращающихся циклов может быть от 2 до 12; продолжительность первого нагнетания, в зависимости от объема заполняемых пустот, составляет от четверти часа до десятков часов. После достижения проектного давления нагнетание продолжается в течение 2 часов.

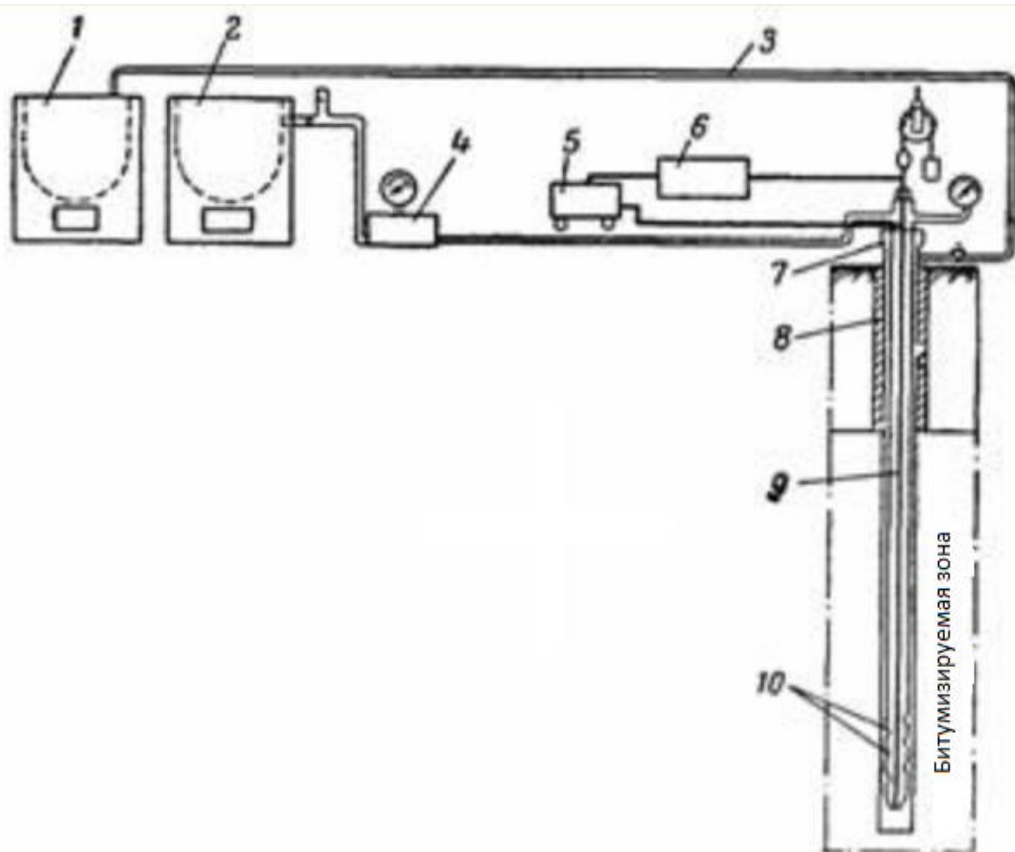


Рисунок 2.7 - Схема оборудования глубоких скважин для битумизации
 1 – котлы для выпарки битума; 2 – котел для подогрева битума; 3 – циркуляционная труба; 4 – насос; 5 – трансформатор; 6 – щиток; 7 – нагнетатель; 8 – кондуктор; 9 – провод электрообогрева; 10 – отверстия для выхода битума

2.3 Электрохимический метод крепления грунтов

Весьма эффективной технологией закрепления водонасыщенных глинистых, пылеватых и илистых грунтов является электрохимический метод. Суть метода заключается в том, что в грунт с наружной и внутренней сторон фундамента погружают трубчатые электроды, один из которых служит анодом, а другой катодом. Расстояние между электродами одного знака составляет 0,8–1,0 м. Через анодный электрод самотеком поступают растворы солей CaCl_2 , затем $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$. Из катода откачивают поступающую грунтовую воду, тем самым создавая дополнительный градиент скоростей. Под действием напряжения постоянного тока 100–120 В происходит направленное движение солевых

растворов от анода к катоду. Тем самым обеспечивается насыщение зоны укрепленного грунта поочередно различными солями, взаимодействие которых позволяет получать плотные структуры грунтов с прочностью 0,4–0,6 МПа. При этом средний расход электроэнергии составляет 60–100 кВт·ч/м³ закрепляемого грунта.

Оборудованием для проведения работ служат: генератор постоянного тока, система трубопроводов, насос для откачки воды из катода, система коммутации анодов и катодов, бак для раствора солей.

Процесс электрохимического закрепления грунтов осуществляется по захваткам длиной 15–20 м в следующей последовательности производства работ: подготовительные работы на захватке; разметка скважин и бурение; размещение анодов и катодов; установочных емкостей с раствором солей; коммутация, в том числе электрических цепей; откачивание воды из катода; процесс электрохимического закрепления.

По окончании закрепления грунта на одной захватке цикл работ повторяется. При этом особое внимание уделяется процессу контроля качества работ, эффективности набора прочности грунтов, устройству контрольных участков и оценке физико–механических свойств.

При выполнении пробных работ уточняются параметры электромагнитного поля, концентрация солевых растворов и время производства работ. По уточненным техническим параметрам ведутся работы в объеме всего здания.

На рисунке. 2.7 приведена технологическая схема производства работ. Основной технологический процесс состоит в устройстве скважин и установке электродов с перфорированной частью нижней зоны

Особенностью рассматриваемого электрохимического закрепления грунтов является то, что с помощью этого способа достигается необратимое изменение свойств грунта; этот результат имеет большое значение для применения способа в производственных условиях, когда грунт требуется закрепить на длительное время.

Необратимость закрепления зависит прежде всего от свойств грунтов, которые определяются их составом и, главным образом, количественным содержанием в грунтах дисперсных частиц размером менее 0,01 мм, поскольку действие электрического тока, и электролита сказывается больше всего на коллоидноактивных частицах.

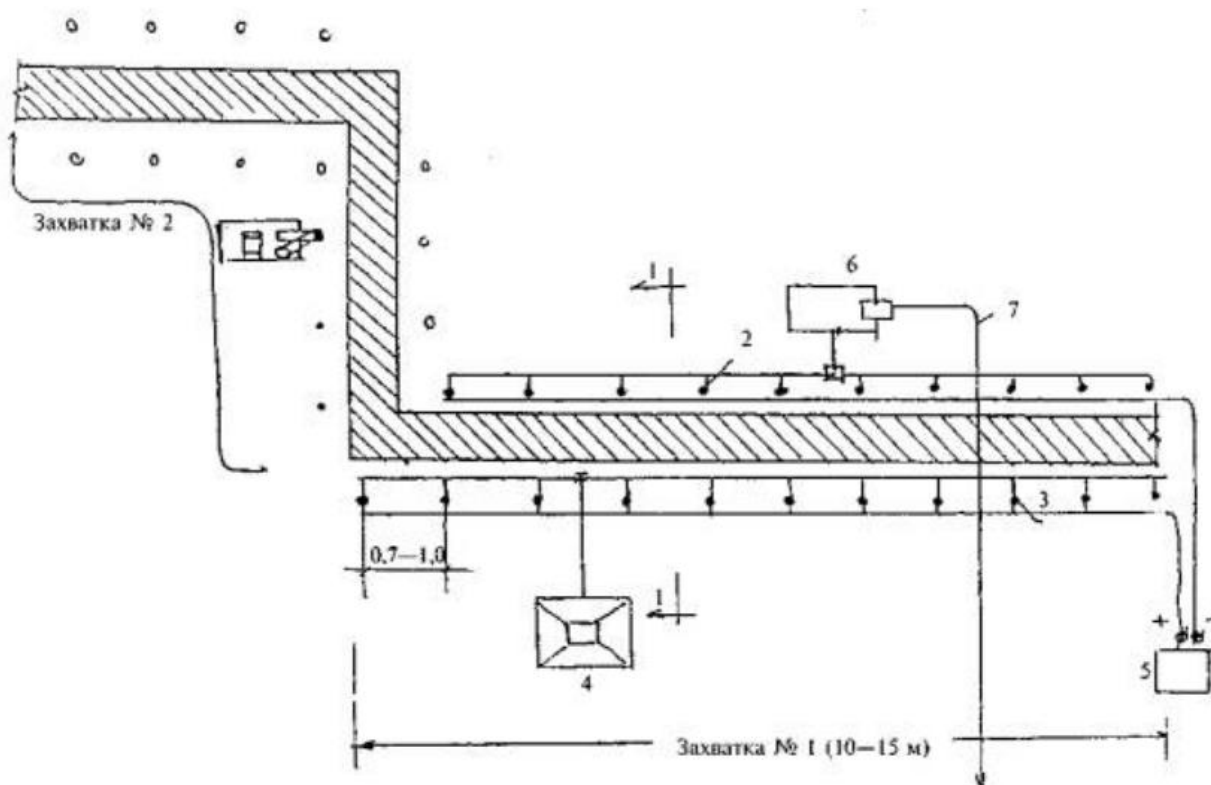


Рисунок 2.8 - Технологическая схема производства работ по закреплению грунтов электрохимическим методом

1 – фундамент; 2, 3 – анод, катод; 4 – емкость для раствора солей; 5 – генератор постоянного тока; 6 – насос для откачки воды от катода; 7 – трубопровод

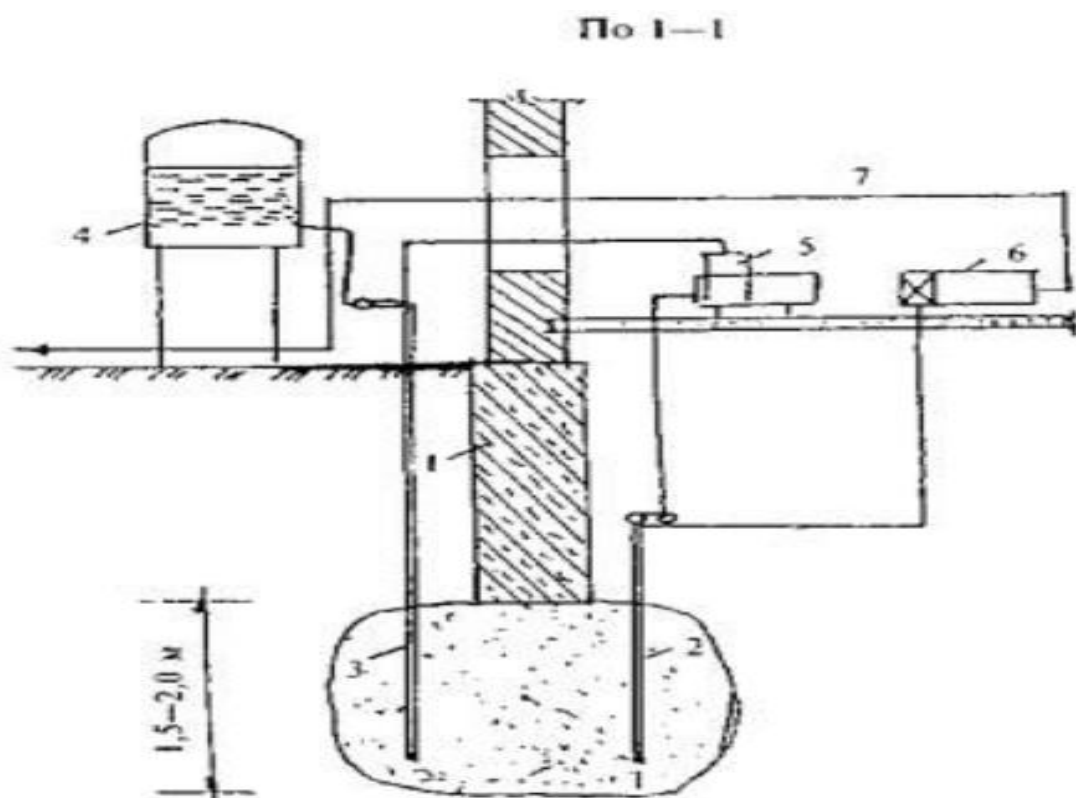


Рисунок 2.9 - Технологическая схема производства работ по закреплению грунтов электрохимическим методом

1 – фундамент; 2, 3 – анод, катод; 4 – емкость для раствора солей; 5 – генератор постоянного тока; 6 – насос для откачки воды от катода; 7 – трубопровод

При известном содержании этих частиц в грунте образуется пространственная взаимосвязанная структура. Для необратимости этой структуры необходимо, чтобы в глинистом грунте было достаточное количество дисперсных частиц. Недостаток в грунте частиц, способных к коагуляционному структурообразованию, компенсируется введением в него химических добавок, которые цементируют его частицы.

Итак, необходимыми требованиями электрохимической обработки грунтов, при которой достигается необратимое закрепление, являются: наличие в грунтах частиц размером менее 0,01 мм в количестве более 50%; обязательное применение химических добавок при электрохимической обработке грунтов, содержащих менее 50% частиц размером менее 0,01 мм.

Для более четкого определения области применения электрохимического закрепления грунтов предлагается классификация, в основу которой положены следующие соображения: электрохимическое закрепление грунтов осуществляется как с применением химических растворов, так и без них.

Необратимое изменение свойств грунтов, обработанных постоянным электрическим током без введения химических реагентов, достигается в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,005 м/сутки, что соответствует числу пластичности, равному 5 и более. Для достижения необратимого закрепления введение химических добавок не обязательно; их применение увеличивает эффективность закрепления.

Достижение устойчивого упрочнения грунтов, имеющих коэффициент фильтрации более 0,01 м/сутки (число пластичности менее 3), возможно только при введении химических добавок. Верхней границей применения такого рода обработки являются грунты с коэффициентом фильтрации 0,1 м/сутки. В эти грунты в качестве химической добавки вводят раствор силиката натрия, золь которого обволакивает частицы грунта, заполняет поры и под влиянием отвердителя превращается в гель.

В грунтах с коэффициентом фильтрации от 0,005 до 0,01 м/сутки возможно как обратимое, так и необратимое закрепление. Если электрохимическая обработка таких грунтов производится без электролита, то результаты закрепления со временем могут, утрачиваться: это зависит от минералогического состава грунтов и времени обработки; применение при электрохимической обработке хлористого кальция приводит к необратимому улучшению свойств этих грунтов.

Исходя из изложенного, способ необратимой электрохимической обработки грунтов возможно подразделить на следующие виды обработки.

Электросиликатизация грунтов — обработка грунтов постоянным электрическим током с введением в грунт раствора жидкого стекла и отвердителя, применима в грунтах с коэффициентом фильтрации от 0,1 до

0,005 м/сутки. В более дисперсных грунтах этот метод мало эффективен из-за низкого коэффициента фильтрации таких грунтов, требующих использования раствора жидкого стекла малой концентрации (меньшей вязкости).

Электролитическая обработка грунтов — совместное действие постоянного электрического тока и электролита (например, хлористого кальция). Этот метод применим в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,01 м/сутки.

Электрообработка грунтов без введения химических добавок — применима в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,005 м/сутки.

Электрохимическая обработка грунтов, содержащих соли кальция (например, илы) может осуществляться без введения в грунт электролита; коэффициент фильтрации этих грунтов обычно значительно меньше 0,005 м/сутки.

Указанные области электрохимической обработки грунтов несколько условны, поскольку резкой границы между видами обработки установить нельзя.

Область применения электрохимической обработки грунтов зависит не только от состава и свойств грунтов, но и от типа инженерных сооружений, в которых она используется.

На основании опыта производственного применения и теоретических соображений электрохимическая обработка грунтов может быть рекомендована в следующих случаях.

1. Для упрочнения грунтов в основаниях сооружений:
 - а) при фундаментах на естественном основании;
 - б) при свайных фундаментах;
 - в) при фундаментах на лессовых грунтах.
2. Для укрепления грунтов в земляных сооружениях:
 - а) верхней площадки земляного полотна;
 - б) откосов выемок и насыпей;

- в) для борьбы с пучением грунтов;
 - г) слабых оснований насыпей.
3. Для закрепления грунтов при специальных видах работ:
- а) при укреплении стенок буровых скважин;
 - б) при подземных выработках.
4. При разработке слабых и оттаивающих грунтов:
- а) предпостроечное осушение грунта;
 - б) с целью осушения грунта при проходке в нем выработок.

2.4 Искусственное замораживание грунтов

Этот способ широко применяют для временного придания грунтам прочности и предотвращения притока воды в подземные выработки. Способ достаточно универсален и применим для всех типов рыхлых, связных и сыпучих грунтов, а также полускальных и скальных грунтов. Искусственное замораживание возможно на различных глубинах, при различной степени водонасыщенности грунтов. С его помощью можно замораживать массивы грунта как ограниченной формы, так и на больших площадях.

Сущность способа проходки в искусственно замороженных грунтах состоит в создании из замороженного грунта временного ограждения (кругового, прямоугольного или иного очертания), препятствующего проникновению грунтовой воды или водоносных неустойчивых грунтов в выработку при выполнении проходческих работ.

Создают такое ограждение следующим образом (рис, 24). До начала проходческих работ вблизи контура выработки (1) через толщу водоносных грунтов бурят скважины (2), заглубляя их в водоупорной слой (4), на глубину $h = 2 \div 3$ м. В скважины опускают замораживающие трубы – колонки. Через колонки прокачивают охлажденную до низких температур жидкость или нагнетают в них сжиженные газы с низкой температурой испарения.

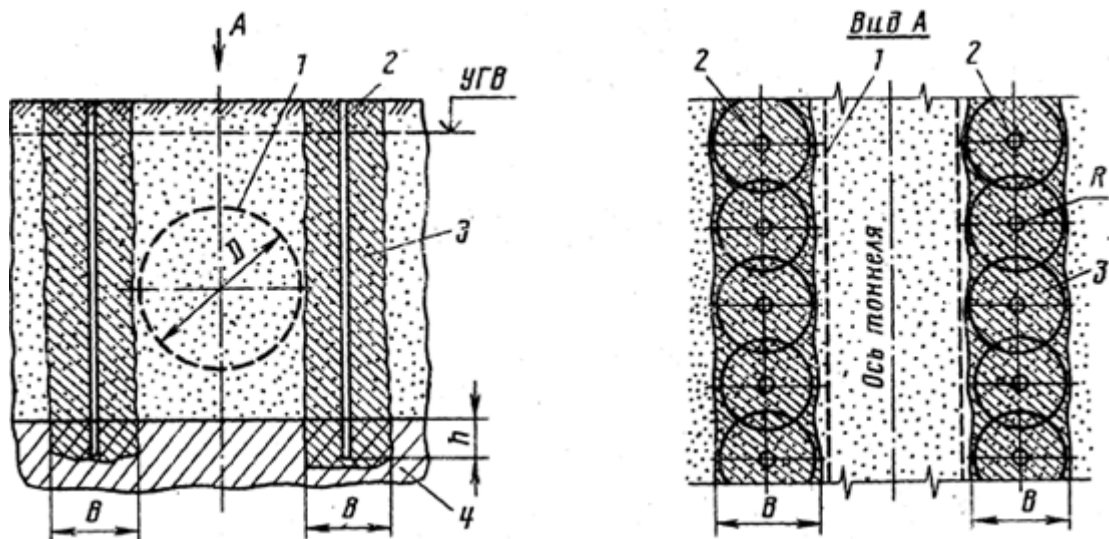


Рисунок 2.10 - Схема образования льдогрунтового ограждения

В результате постоянного притока холода в замораживающие колонки находящаяся в грунте вода замерзает и вокруг каждой колонки образуются льдогрунтовые цилиндры (3), с постепенно увеличивающимся радиусом R . Со временем эти цилиндры смыкаются в единое льдогрунтовое ограждение толщиной B .

Замороженные грунты резко изменяют свои первоначальные физико-механические свойства (прочность на сжатие и растяжение, сцепление, сдвиг, упругость и т. д.).

В зависимости от способа передачи холода от хладообразующего агрегата в замораживающую колонку различают две схемы замораживания: рассольную и безрассольную.

2.5 Замораживание грунта по рассольной схеме

При рассольной схеме холод от хладообразующего агрегата передают в замораживающую колонку посредством циркулирующей между ними жидкости – хладоносителя. В каждую колонку (рис. 25) опускают питающую трубу (6) с открытым нижним концом, который не доходит до дна замораживающей колонки на 400–500 мм. Питающую трубу подключают к распределительному коллектору (3), по которому подают хладоноситель. Отобрав тепло от окружающего грунта, хладоноситель по отводящей трубе

(5) поступает в обратный коллектор (1), а оттуда на повторное охлаждение. Для выключения замораживающей колонки из работы на питающей и отводящей трубах установлены запорные краны (2) и (4). В замораживающих колонках могут быть установлены специальные диафрагмы (7), которые ограничивают циркуляцию хладоносителя в колонке до определенной высоты. Это позволяет замораживать грунт только в нижней части колонок. Такие колонки называют колонками зонального замораживания.

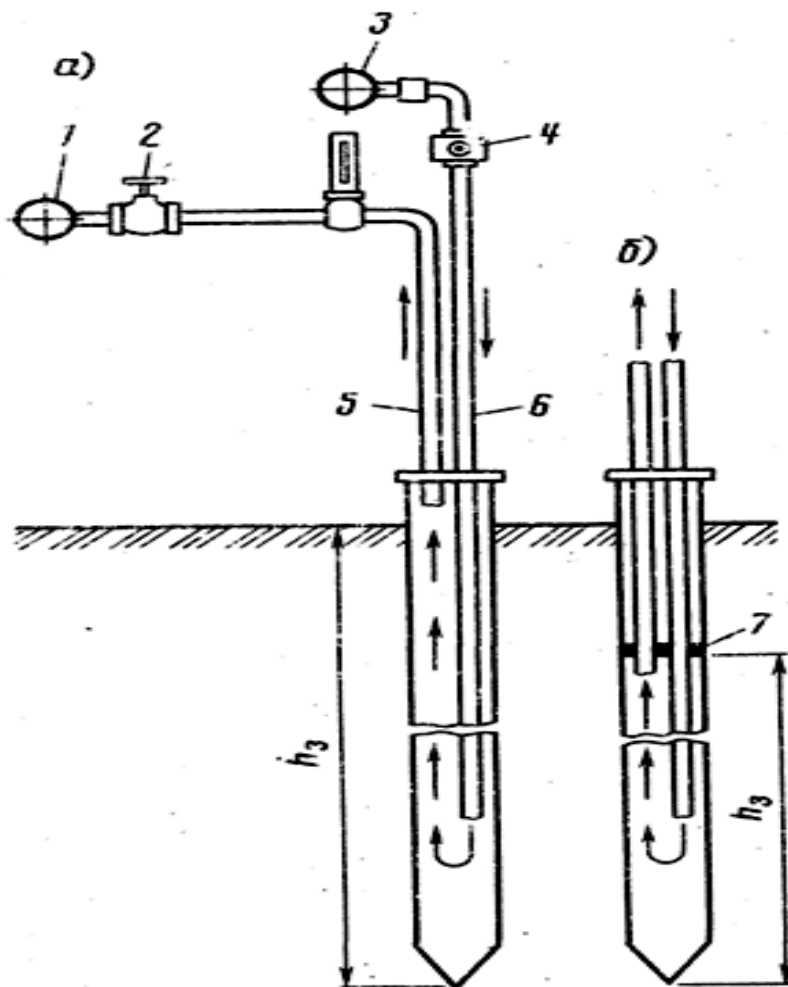


Рисунок 2.11 – Схема обычной замораживающей колонки (а) и колонки зонального замораживания (б)

В качестве хладоносителя используют водные растворы солей, получившие название рассолов. В практике замораживания наибольшее распространение получил водный раствор хлористого кальция. Рассолы достаточно дешевы и легко могут быть приготовлены в условиях строительной площадки. Однако им свойственны недостатки: они

агрессивны по отношению к льдогрунтовому ограждению и в случае утечки из колонок разрушают его, приводя к прорыву пльвуна в выработку; кроме того, их можно охлаждать только до температуры $-20 \div 25^{\circ}\text{C}$. В тех случаях, когда необходимо понизить температуру хладоносителя, т. е. сократить время на образование льдогрунтового ограждения, вместо рассолов следует применять жидкости, не замерзающие при более низких температурах – этиленгликоль или фреон-30. Эти жидкости допускают охлаждение до температуры -35°C , кроме того, при утечке из колонки они не разрушают льдогрунтовое ограждение.

2.6 Замораживание грунта по безрассольной схеме

При безрассольной схеме охлаждение скважин происходит непосредственно хладообразующим веществом – хладагентом – без хладоносителя. Процесс замораживания при этом осуществляется за счет непосредственного испарения хладагента в замораживающих колонках. В качестве хладообразующих веществ используют аммиак, фреон-143, углекислоту и азот. Температура испарения их при атмосферном давлении составляет: аммиака $-33,4^{\circ}\text{C}$, фреона $-143 \div 47,6^{\circ}\text{C}$, углекислоты -35°C , азота $-195,8^{\circ}\text{C}$.

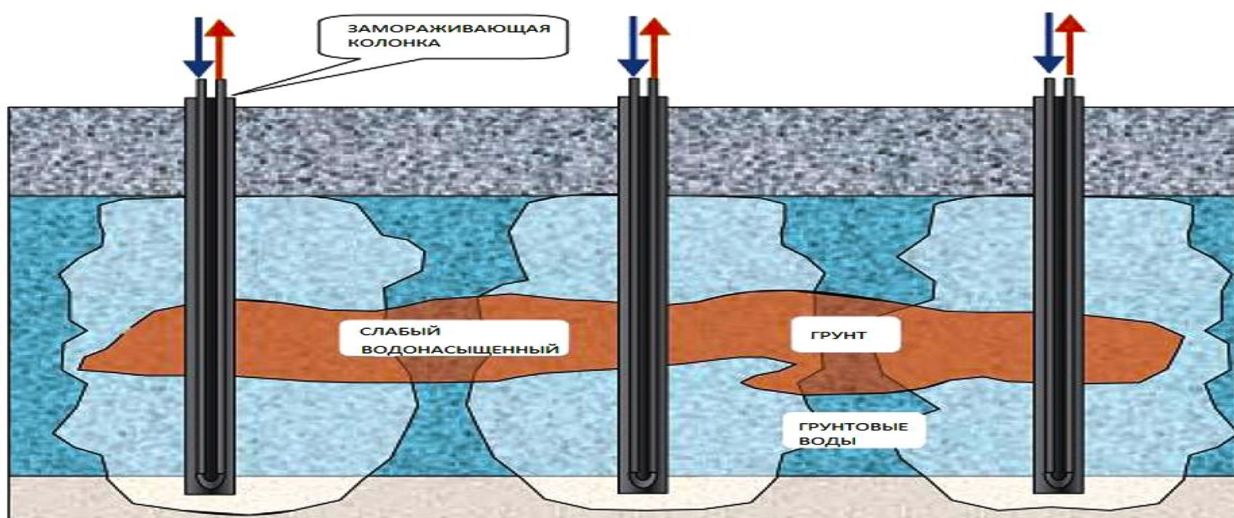


Рисунок 2.12 - Схема замораживающих колонок

Наиболее эффективным хладагентом является жидкий азот, поскольку он обладает самой низкой температурой испарения. Время замораживания грунта жидким азотом сокращается по сравнению с рассольным способом в 8–9 раз. Повышенная прочность льдогрунтового ограждения (из-за более низкой температуры грунта) позволяет уменьшить его толщину, а следовательно, дополнительно сократить время, необходимое на образование такого ограждения. Для замораживания применяется простое в монтаже и легко транспортируемое оборудование. Жидкий азот доставляют на объект в специальных емкостях – танках вместимостью до 38 м³, смонтированных на шасси автомобиля.

Для замораживания грунтов жидким азотом могут быть использованы замораживающие колонки такой же конструкции, что и при рассольном.

В некоторых случаях может оказаться эффективным комбинированный способ замораживания: создание льдогрунтового ограждения с использованием жидкого азота и поддержание грунтов в замороженном состоянии в период строительства тоннеля с использованием рассольного способа.

2.7 Замораживание грунта с применением жидкого азота

В последнее время для искусственного замораживания грунтов в практике метростроения стали использовать новый хладагент — жидкий азот, который представляет собой жидкость без цвета с очень низкой температурой испарения, (при атмосферном давлении она составляет минус 195,8°С).

Жидкий азот получают на специализированных заводах методом сжижения воздуха атмосферного при криогенных температурах и разделения этого воздуха на кислород и жидкий азот, которые характеризуются разными температурами испарения. Жидкий азот транспортируется в специальных танках (емкостях).

По сравнению с другими промышленными хладагентами (аммиаком,

фреоном), которые использовать возможно только лишь в замкнутой системе холодильных установок, жидкий азот используется однократно (газ выпускается в окружающую среду).

Метод низкотемпературного замораживания с использованием жидкого азота характеризуется целым рядом преимуществ по сравнению с обычным замораживанием (рассольным). В случае замораживания азотом не требуются замораживающие станции и сети труб. Жидкий азот, доставленный на стройплощадку, пускается из цистерн сразу в замораживающие колонки. Увеличивается скорость замораживания, что является особенно важным при значительных скоростях фильтрации грунтовых вод, а также при поступлении минерализованных и термальных вод.

Жидкий азот доставляется в цистернах вместимостью 1200, 3000 и 5000 л и более, смонтированных на автомобилях. На замораживание одного кубометра грунта с содержанием до 30% воды требуется 1000 л жидкого азота. Скорость замораживания грунта составляет 10–15 см/сут и превышает скорость водопитока в замороженную зону, поэтому интенсивного пучения и водонасыщения грунта не происходит. Жидкий азот пожаро- и взрывобезопасен, недорог и нетоксичен.

Замораживающие колонки при низкотемпературном замораживании соединяются в одну систему последовательно. Жидкий азот поступает в питающую (внутреннюю) трубу первой замораживающей колонки. В кольцевом пространстве колонки происходит испарение жидкого азота, образовавшийся газ поднимается к оголовку колонки, откуда по трубопроводу затем поступает в питающую трубу соседней колонки и т. д. (рисунок 2.13).

В атмосферу он поступает из последней колонки системы с температурой порядка минус 40°C.

Замораживающая колонка

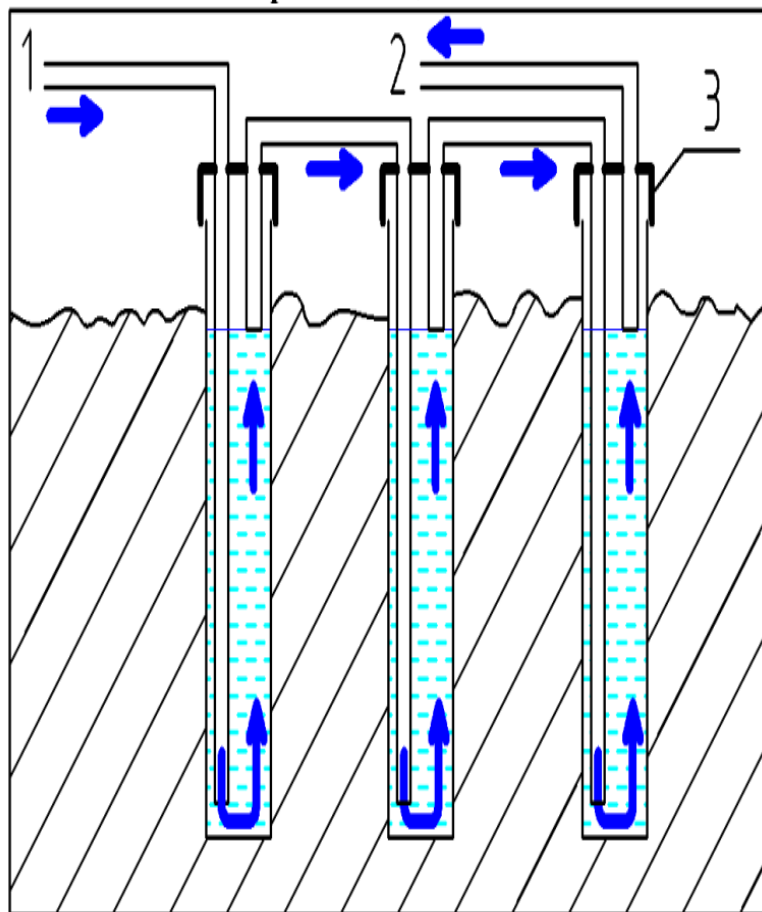


Рисунок 2.13 – Схема азотного (низкотемпературного) замораживания
1 – трубка подводящая; 2 – трубка для отвода испарившегося азота; 3 – оголовок стальной

Использование технологии низкотемпературного замораживания эффективно при ликвидации плывунов и прорывов воды в горные выработки, а также при выполнении в водоносных грунтах срочных работ [12].

Искусственное замораживание представляет собой универсальное средство для стабилизации грунтов и обеспечения возможности проведения работ в породах водоносных. При этом ему присущ ряд недостатков. Происходит пучение обводненных грунтов из-за увеличения объема грунта в процессе замораживания и осадка в процессе оттаивания может привести к деформации поверхностных сооружений, под которыми осуществляются работы, в особенности если они производятся на малой глубине. Подготовительные работы являются достаточно сложными, а сам процесс замораживания занимает длительное время, кроме того, такие работы

отличаются довольно высокой стоимостью.

Совмещенное использование водопонижения и замораживания позволяет осушить грунт в котловане, огражденном замкнутой ледогрунтовой водонепроницаемой стеной.

2.8 Искусственное замораживание грунтов с применением жидкого азота при сооружении ремонтного котлована. Достоинства

Из проанализированных мной способов, для сооружения ремонтного котлована в условиях болот, по многим параметрам, подходит искусственное замораживание грунтов с применением в качестве хладагента жидкого азота.

За последние два десятилетия замораживание грунта жидким азотом из экзотической сферы применения газа с множеством неизвестных факторов превратилось в стандартную методику обработки неустойчивых грунтов и мест утечек.

Замораживание жидким азотом получает все большее распространение, обладая рядом достоинств по сравнению со способом замораживания рассолом [13]:

Монтаж установки замораживания с использованием жидкого азота может быть произведен очень быстро;

Объем капиталовложений в установку замораживания с использованием жидкого азота составляет всего лишь небольшую часть капиталовложений, требуемых для монтажа установки замораживания с использованием рассола;

Температура замерзшего грунта будет намного ниже, чем в случае использования установки замораживания с использованием рассола. Это увеличивает устойчивость грунта;

Низкая температура жидкого (-196°C) позволяет произвести замораживание за 4 дня, что намного меньше, чем при процессе замораживания с использованием рассола, на который может уйти месяц;

Процесс является безвредным для окружающей среды, не

используются опасные вещества, вибрация, не происходит загрязнения грунтовых вод;

- Процесс выполняется автоматически;
- Гибкость задания формы зоны замораживаемого грунта;
- Сочетание уплотнения и статической опоры;
- Нетребовательность к значениям влажности грунта (5–100%);
- Замерзший грунт является на 100% водонепроницаемым, не

происходит приток грунтовых вод;

- Твердость замороженного грунта близка к твердости бетона;

Затвердевание грунта является всего лишь временным. После отключения подачи жидкого азота замерзший грунт оттает в течение нескольких недель.

Также стоит заметить и экономический фактор, расход жидкого азота на замораживание 1 м³ грунта составляет около 600 кг.

2.9 Замораживающие станции и установки для производства и доставки жидкого азота

Для продуктивной работы по замораживанию котлована на МН в условиях болот нам понадобится некоторое количество жидкого азота. Для получения необходимого количества жидкого азота можно прибегнуть к следующим техническим средствам:

- Транспортные цистерны
- Азотные установки
- Передвижные и мобильные

2.10 Транспортные цистерны

Цистерны предназначены для кратковременного хранения, транспортирования и выдачи криогенных продуктов.

Цистерны транспортируются автомобильными тягачами (рис.3.1).



Рисунок 3.1. Цистерны для транспортировки криогенных продуктов (жидкого азота)

Цистерна состоит из криогенного резервуара с многослойной высокоэффективной тепловой изоляцией. Резервуар изготовлен из стали 12Х18Н10Т. Цистерны снабжены арматурой, приборами для замера уровня, давления и температуры, предохранительными устройствами (ПК и ПМ) от превышения рабочего давления во внутреннем сосуде, теплоизолирующей полости и трубопроводах. Цистерны имеют атмосферный испаритель подъема давления для выдачи жидкого криопродукта.

Управление арматурой - ручное с отбором сигналов от приборов на пульт управления. Транспортные цистерны отвечают требованиям Европейского соглашения о международных перевозках ДОПОГ (АДК).

Технические характеристики цистерн приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Технические характеристики цистерн для транспортировки жидких криогенных продуктов

Характеристика	Единица измерения	Продукт	ЦТ-8/0,6	ЦТ-20/1,8	ЦТ-25/0,25	ЦВТ-45/1,0
Вместимость	м ³		8	20,0	28,4	45
Рабочее давление	МПа		0,6	1,8	0,25	1,0
Масса перевозимого продукта	т	азот	6,2	15,8	21,7	-
		кислород	8,6	20,2	-	-
		аргон	10,8	20,2	-	-
		водород	-	-	-	2,74
Масса порожней цистерны без тягача	т		4,7	12,5	12,5	21,76
Масса порожней цистерны с тягачом	т		-	21,75	21,7	28,86
Потери продукта от испарения	% в сутки	азот	0,6	0,56	0,56	-
		кислород	0,35	0,40	0,51	-
		аргон	0,42	0,52	0,67	-
		водород	-	-	-	0,8
Габаритные размеры	м	высота	2,29	3,6	3,7	3,7
		ширина	2,1	2,5	2,5	2,5
		длина с тягачом	-	14,2	15	18,3
		длина без тягача	5,0	10,5	12,2	15,5
Базовый тягач			*	МАЗ-64221	МАЗ-64221	КамАЗ-54112

*-цистерна устанавливается на бортовом автомобиле или прицепе.

ЦТ-8,15,20,25 м³ могут быть доработаны под СПГ.

2.11 Азотные установки для производства жидкого азота из атмосферного воздуха

Установки для производства жидкого азота из атмосферного воздуха могут быть там, где доставка азота от внешних производителей не удобна или требуется повышенная надежность системы хранения. Азотные установки потребляют атмосферный воздух достаточного качества, электропитание и проточную холодную воду для охлаждения рабочих агрегатов. Технические характеристики азотных установок представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 Технические характеристики азотных установок

Модели	LNP10	LNP20	LNP40	LNP60	Stirling-1 Economy	Stirling-1 Compact	Stirling1	Stirling2	Stirling4	Stirling8
Производительность, л/час	0,45	0,83	1,67	2,5	5	10	10-16	21-33	44-75	89-151
Чистота продукта, %	98	98	98	98	99	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
Потребляемая мощность, кВт	2	3,7	5,5	7,5	13	16	16	32	63	126
Вес, кг	100	110	135	173	1300	1350	1500	2800	5000	9000
Накопительная емкость в комплекте, л	35	100	160	210	200	300	500	1000	2000	2000
Уровень шума, Дб					70	70	70	70	72	74
Макс. окружающая температура, гр.С	38	38	38	38	45	45	45	45	45	45
Водное охлаждение, л/час					1150	1150	1150	1900	4500	9000
Занимаемое пространство, м					2,9×3,1	2,9×3,1	4,5×3,5	7,2×3,7	8,7×4,8	8,7×5,8
Макс. высота, м		1,2			3	3	3	3	4	4

Рассмотрим установку StirLIN–4, как наиболее подходящую как по габаритам, так и по производительности.

Установка StirLIN–4(рис.23) продуцирует как минимум 44 литра жидкого азота в час номинальной чистотой 99% или выше при нормальных условиях.

Давление в резервуаре может регулироваться от 0.4 до 5 barg, при увеличении продуктивности до 75 литров в час чистота продукта будет от 98% или выше. Жидкий азот подается через гибкий криогенный шланг при открытии вентиля. Установленная потребляемая мощность составляет 63 кВт при использовании водопроводной воды. Оператору необходимо только менять фильтры и компрессорное масло и проводить профилактическое обслуживание каждые 6000 рабочих часов.

StirLIN-4 базируется на высокоэффективной системе амплитудной абсорбции под давлением для отделения азота и использует проверенный четырехцилиндровый криогенератор SPC-4 в качестве оживителя. Установка комплектуется 2000 литровым накопительным резервуаром.



Рисунок 3.2. Азотная установка StirLIN-4 для производства жидкого азота из атмосферного воздуха

The StirLIN-4 также может быть выполнена в усиленной модификации — при добавлении второго SPC-4 криогенератора (становится StirLIN-8).

Технические характеристики:

- производительность не менее 44 литров жидкого азота в час
- чистота продукта 99% азот
- обслуживание каждые 6000 рабочих часов
- потребление воды для охлаждения 4500 л/час
- потребляемая мощность 63 кВт
- время подготовки к старту 10 мин

- старт-стоп процедура полностью автоматическая, одним переключателем
- необходимая занимаемая площадь 8,7×4,8 м, высота 4 м
- вес нетто 5000 кг
- окружающая температура до +45°C
- допустимая влажность среды до 95%
- накопительный резервуар 2000 л
- давление в резервуаре 0,4-5 барг
- монтаж на месте 4-6 дней
- уровень шума 72 дБ

2.11 Станции для производства кислорода и азота МКДС - 100К

Станция мобильная кислородоазотодобывающая контейнерная МКДС - 100К (рис.24) может выполнять следующие виды работ (используемый продукт - атмосферный воздух):

- производство жидкого технического кислорода второго сорта (или жидкого медицинского кислорода)
- производство газообразного технического кислорода второго сорта (или газообразного медицинского кислорода)
- производство жидкого технического азота первого сорта
- производство азота, газообразного технического первого сорта

Установки четырехрежимные: каждый из режимов работы обеспечивает получение только одного из продуктов в газообразном или жидком виде.



Рисунок 3.3. Мобильная кислородоазотодобывающая контейнерная станция МКДС - 100К

Спектр применения кислородных станций очень широк, к нему относятся задачи получения кислорода автогенного (за исключением автоматической резки металлов), также кислородные станции находят применение в силикатной, целлюлозно-бумажной, пищевой и фармацевтической промышленности, рыбозаведении, переработке сточных вод и питании озонаторных установок, сжигании твердых отходов. Получение кислорода и получение азота являются основными назначениями станции.

Станция может использоваться для обеспечения технологических процессов на промышленных предприятиях (теплоэнергетика, машиностроение и др.); обслуживания сельскохозяйственных регионов; на стройках, нефте- и газопромислах; для аэродромного обеспечения летательных аппаратов; в медицине, в биологии, и т.п.

Оборудование мобильных кислородоазотодобывающих станций смонтировано в готовом для эксплуатации виде в 2-х комфортабельных фургонах, имеющих отопление, кондиционирование, естественное и

искусственное освещение, замкнутый цикл водообеспечения для охлаждения компрессоров.

Кроме того, в комплект может входить наполнительная рампа, что позволяет на месте осуществлять заправку одновременно нескольких баллонов кислородом под давлением 150 атм.

Конструктивно станция состоит из компрессорного и технологического отделений, связанных между собой соединительными коммуникациями. Оборудование каждого отделения размещено в цельнометаллических фургонах-контейнерах, оснащенных естественным и искусственным освещением, электрическим отоплением и вытяжной вентиляцией. Компрессорное отделение предназначено для получения сжатого до 19,6 МПа (200 кгс/см²) воздуха; технологическое – для последующих осушки, очистки, ожижения и разделения воздуха на азот и кислород.

Принцип работы базируется на свойствах адсорбирующих материалов селективного поглощения молекул азота и примесных газов, содержащихся в атмосферном воздухе, пропуская при этом молекулы кислорода. Все используемые в кислородных станциях адсорбенты проходят сертификацию и освидетельствование на территории России, что гарантирует надёжность работы систем и высокое качество получаемого продукта. Станции производят кислород из атмосферного воздуха на базе метода короткоциклового безнагревной адсорбции (КЦА или КБА метод), позволяют получать газообразный кислород чистотой до 99.5%.

Атмосферный воздух через воздушные фильтры засасывается двумя пятиступенчатыми поршневыми компрессорами, сжимается, охлаждается водой оборотной системы охлаждения, очищается от капельных влаги и масла и по соединительному трубопроводу поступает из компрессорного отделения в технологическое.

После предварительного охлаждения в ожижителе блока разделения и отделения капельной влаги воздух высокого давления направляется в блок комплексной очистки, где из него методом адсорбции на цеолите удаляются

пары воды, диоксид углерода, углеводороды и другие примеси. Осушенный и очищенный воздух поступает в блок разделения, причем часть его предварительно расширяется в детандере. В блоке разделения происходит ожижение части воздуха и разделение его в разрезной колонне двукратной ректификации на жидкий кислород или азот и отбросной газ. Жидкий продукт после переохлаждения отправляется в емкость блока разделения и периодически сливается в криогенный резервуар для хранения сжиженных газов. Для производства газообразного продукта жидкий кислород или жидкий азот засасывается насосом сжиженных газов, газифицируется в теплообменнике и ожижителе блока разделения за счет тепла воздуха высокого давления и подается на наполнительную рампу.

Отбросной газ последовательно проходит теплообменные аппараты, отдавая свой холод поступающему на разделение воздуху, после чего выбрасывается в атмосферу. Часть отбросного потока используется для регенерации блока очистки.

Станции типа МКДС могут питаться от сети переменного 3-х фазного тока 220/380 В, 50 Гц, так и от передвижной дизельной электростанции, которая может входить в комплект поставки по требованию заказчика. Станции МКДС размещаются на открытом воздухе, на площадке с легким бетонным покрытием или плотным грунтом.

Станции обеспечены надежной системой контроля и управления, имеющей всю необходимую предохранительную арматуру, систему блокировок и аварийных остановок, что делает работу станции безопасной. Допускается кратковременная (в течение 8 часов) остановка станции без предварительного отогрева перед ее повторным пуском; Станция может эксплуатироваться при температуре окружающей среды от минус 45 до 40 градусов. Технические характеристики МКДС - 100К приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Технические характеристики МКДС - 100К

Производительность, кг/ч:	
по жидким	
-азоту и кислороду	100
по газообразным	
- азоту	160 (26 баллонов в час)
- кислороду	100 (15-16 баллонов в час)
Чистота продукта, %:	
по жидким	
- азоту	99,9
- кислороду	99,5
по газообразным	
- азоту	99,9
- кислороду	99,5
Давление продуктов, МПа:	
-жидких	0,07
-газообразных	23
Потребляемая мощность, кВт	180-210 кВт/ч
Габаритные размеры фургонов, м	6,74x2,86x3,25
Масса, т	18

2.12 Выбор технического оборудования для получения и доставки жидкого азота

После рассмотрения всех этих технических средств можно сделать следующие выводы по каждому из них:

Транспортные цистерны выполняются в виде прицепов, т.е. использование их в ремонтных работах будет крайне затруднено. Так же время доставки жидкого азота зависит от места расположения установок по производству жидкого азота и систем хранения жидких криогенных продуктов. Количество жидкого азота ограничено объемом цистерны.

Азотные установки для производства жидкого азота из атмосферного воздуха можно расположить на базе автотранспорта. Но азотные установки имеют внушительные габариты - занимаемая площадь $8,7 \times 4,8$ м и высота 4 м; должны охлаждаться водой - 4500 л/час; необходимо наличие электростанции для питания азотной установки; существенным недостатком является наличие шума уровня до 72 дБ.

Мобильные кислородные станции отличаются высокими технико-экономическими характеристиками — они сочетают в себе исключительную надежность и невысокую стоимость получаемого кислорода, около 2–3 руб/м³.

Самыми характерными достоинствами данной станции являются :

- размещение оборудования в комфортабельных фургонах контейнерах;
 - возможность перебазирования любым видом транспорта;
 - малая длительность монтажно - демонтажных работ;
 - автономная система охлаждения компрессоров;
 - возможность работы с передвижной электростанцией
- обеспечивают работоспособность станции в полевых условиях и позволяют ее использовать в малоосвоенных и труднодоступных регионах, себестоимость по электроэнергии на 1 баллон = (стоимость 1 кВт х 200 кВт) /16 баллонов = 20 руб.

Мобильные кислородные станции отличное средство получения и доставки жидкого азота к месту проведения замораживания. Однако учитывая срочность ликвидации аварии, я считаю, что целесообразнее использовать транспортные криогенные цистерны ЦТК-50, объемом 50 м³.

Нам для заморозки необходимо жидкого азота почти в два раза. Для начала хватит 50 м³ жидкого азота, а после нужна еще одна ЦТК-50.

Как альтернатива можно использовать ЦТК-50 и одну или несколько мобильных кислородных станций. Ввиду небольшой производительности,

кислородной мобильной станции не рекомендуется использовать на начальном этапе заморозки, если важна скорость образования ледогрунтового ограждения. Если же проводятся плановые работы, рекомендуется применение мобильных кислородных станций.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Аварийно-восстановительные работы, в условиях болот со слабой несущей способностью грунтов и нередко, с большой обводненностью, гораздо более затратны по трудоемкости исполнения работ, требуют значительной продолжительности по времени, а экономический ущерб в разы выше, чем при авариях на грунтах с высокой устойчивостью.

Подобная специфика трудоемкости выполнения работ, возникает при подготовке рабочей площадки, ремонтного котлована, обеспечении подъездных путей.

Для разработки участков с грунтом слабой несущей способностью, требуются иные методики и специальные технические средства, чем в условиях, где грунт устойчив. Поэтому при ремонте нефтепровода и сооружения котлована в условиях болот на первичные места выходят следующие показатели:

- продолжительность монтажа установки и скорость ремонта;
- водонепроницаемость (для более качественного ремонта нефтепровода);
- экономические показатели (стоимость работ, количество рабочих).

Целью данного раздела является сравнение применения двух новых методов замораживания грунта в условиях болот с использованием различных хладагентов. Технология замораживания грунта при ремонте трубопровода в условиях болот является новой, поэтому ниже в разделе мы рассмотрим целесообразность ее использования и экономические показатели

3.1 Мобильная станция АКДС – 70М для производства жидкого азота

Станция мобильная кислородоазотодобывающая контейнерная МКДС – 100К и АКДС – 70М может выполнять следующие виды работ (используемый продукт – атмосферный воздух):

- производство жидкого технического кислорода второго сорта (или жидкого медицинского кислорода);
- производство газообразного технического кислорода второго сорта (или газообразного медицинского кислорода);
- производство жидкого технического азота первого сорта;
- производство газообразного технического азота первого сорта.

Установки четырехрежимные: при любом режиме работы получается продукт газообразного, либо жидкого состояния.

Кислородные станции применяются для получения автогенного кислорода (кроме автоматической резки металлов) аналогично в силикатной, целлюлозно-бумажной, пищевой и фармацевтической промышленности, фильтрации сточных вод и поддержке озонаторных установок, утилизации твердых отходов.

Производство кислорода и производство азота являются основными назначениями станции.

Станция может использоваться для обеспечения технологических процессов на промышленных предприятиях (теплоэнергетика, машиностроение и др.); обслуживания сельскохозяйственных регионов; на стройках, нефте- и газопромислах; для аэродромного обеспечения летательных аппаратов; в медицине, в биологии, и т.п.

Оборудование мобильных кислородоазотодобывающих станций смонтировано в готовом для эксплуатации виде в 2-х комфортабельных фургонах, имеющих отопление, кондиционирование, естественное и искусственное освещение, замкнутый цикл водообеспечения для охлаждения компрессоров.

Кроме того, станция комплектуется дополнительной рампой, которая

обеспечивает заправку нескольких баллонов кислородом под давлением 150 атм одновременно.

Конструктивно станция состоит из компрессорного и технологического отделений, связанных между собой соединительными коммуникациями. Оборудование каждого отделения, размещенного в цельнометаллических фургонах-контейнерах, оснащенных естественным и искусственным освещением, электрическим отоплением и вытяжной вентиляцией. Компрессорное отделение предназначено для получения, сжатого до 19,6 Мпа (200 кгс/см²) воздуха; технологическое – для последующих осушки, очистки, сжижения и разделения воздуха на азот и кислород. Принцип работы базируется на свойствах адсорбирующих материалов селективного поглощения молекул азота и примесных газов, содержащихся в атмосферном воздухе, пропуская при этом молекулы кислорода. Все используемые в кислородных станциях адсорбенты проходят сертификацию и освидетельствование на территории России, что гарантирует надёжность работы систем и высокое качество получаемого продукта. Станции производят кислород из атмосферного воздуха на базе метода короткоциклового безнагревной адсорбции (КЦА или КБА метод), позволяют получать газообразный кислород чистотой до 95 %.

Атмосферный воздух через воздушные фильтры засасывается двумя пятиступенчатыми поршневыми компрессорами, сжимается, охлаждается водой оборотной системы охлаждения, очищается от капельных влаги и масла и по соединительному трубопроводу поступает из компрессорного отделения в технологическое.

После предварительного охлаждения в сжижителе блока разделения и отделения капельной влаги воздух высокого давления направляется в блок комплексной очистки, где из него методом адсорбции на цеолите удаляются пары воды, диоксид углерода, углеводороды и другие примеси.

Осушенный и очищенный воздух поступает в блок разделения, причем часть его предварительно расширяется в детандере. В блоке разделения происходит сжижение части воздуха и разделение его в разрезной колонне

двукратной ректификации на жидкий кислород или азот и отбросной газ.84

Жидкий продукт после переохлаждения отправляется в емкость блока разделения и периодически сливается в криогенный резервуар для хранения сжиженных газов.

Для получения газообразного продукта жидкий кислород или азот засасывается насосом сжиженный газ, газифицируется в теплообменнике и ожижителе блока разделения за счет тепла воздуха высокого давления и подается на наполнительную рампу.

Отбросной газ последовательно проходит теплообменные аппараты, отдавая свой холод поступающему на разделение воздуху, после чего выбрасывается в атмосферу. Часть отбросного потока используется для регенерации блока очистки.

Станции типа МКДС могут питаться от сети переменного 3-х фазного тока 220/380 В, 50 Гц, так и от передвижной дизельной электростанции, которая может входить в комплект поставки по требованию заказчика. Станции МКДС размещаются на открытом воздухе, на площадке с легким бетонным покрытием или плотным грунтом.

Станции обеспечены надежной системой контроля и управления, имеющей всю необходимую предохранительную арматуру, систему блокировок и аварийных остановок, что делает работу станции безопасной. Допускается кратковременная (в течение 8 часов) остановка станции без предварительного отогрева перед ее повторным пуском; Станция может эксплуатироваться при температуре окружающей среды от минус 45 до плюс 40 °С.

Мобильные кислородные станции отличаются высокие технико-

экономические характеристики – они сочетают в себе исключительную надежность и невысокую стоимость получаемого кислорода, около 2–3 руб/м³.

Самыми характерными достоинствами данной станции являются:

- размещение оборудования в комфортабельных фургонах-контейнерах;
- возможность перебазирования любым видом транспорта;
- малая длительность монтажно-демонтажных работ;
- автономная система охлаждения компрессоров;
- возможность работы с передвижной электростанцией обеспечивают работоспособность станции в полевых условиях и позволяют ее использовать в малоосвоенных и труднодоступных регионах;
- себестоимость по электроэнергии на 1 баллон = (стоимость 1 кВт х 200 кВт)/16 баллонов = 20 руб.

Технические характеристики автомобильной кислородной станции АКДС-70М указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики автомобильной кислородной станции АКДС – 70М

Количество перерабатываемого воздуха (м ³ /ч)	480
Производительность	
- по жидкому кислороду (кг/ч)	70
- по газообразному кислороду (м ³ /ч)	70
- по жидкому азоту (кг/ч)	70
- по газообразному азоту (м ³ /ч)	100
Чистота продуктов разделения воздуха (содержание кислорода), %:	
– кислорода	99,2
– азота	1
Давление газообразных продуктов, МПа (атм)	до 400
Потребляемая мощность (кВт)	до 200
Режим запуска/работы АКДС – 70М	
продолжительность пускового периода	не более 5 ч
Отогрев блока разделения	не более 6 ч
Продолжительность рабочей кампании	20 суток

Технический ресурс АКДС – 70М	
До первого капитального ремонта	12000 ч
межремонтный ресурс	9600 ч
срок службы до списания	31000 ч
Габаритные размеры, м	
– компрессорное отделение	9,77 x 2,795 x 3,64
– технологическое отделение	9,77 x 2,795 x 3,63
Масса, т:	
– компрессорное отделение	19,5
– технологическое отделение	18,6

3.1.1 Расчет производительности при замораживании грунта ремонтного котлована

Из расчета, что на замораживание 1 м³ грунта требуется 600 кг жидкого азота покажем, требуемое количество жидкого азота исходя из объема замороженного грунта с учетом толщины стенки.

Таблица 2 – Объем замороженного грунта, м³

Длина ремонтного котлована, м.	Наружный диаметр трубопровода D _н , мм.					
	530	630	720	820	1020	1220
4	7,92	7,92	8	8	8,08	8,16
5	12,4	12,4	12,5	12,5	12,6	12,8
6	17,76	17,88	18	18	18,24	18,36
7	24,22	24,36	24,5	24,5	24,78	25,06
8	31,68	31,84	32	32	32,32	32,64
9	39,96	40,14	40,32	40,5	41,04	41,4
10	49,4	49,6	49,8	50,2	50,6	51
11	59,84	60,06	60,28	60,72	61,16	61,82
12	71,28	71,52	71,76	72,24	72,72	73,44
13	83,46	83,98	84,24	84,76	85,54	86,32

Таблица 3 – Требуемое количество жидкого азота, т

Длина ремонтного котлована, м.	Наружный диаметр трубопровода D _н , мм.					
	530	630	720	820	1020	1220
4	4,75	4,75	4,80	4,80	4,85	4,90
5	7,44	7,44	7,50	7,50	7,56	7,68
6	10,66	10,73	10,80	10,80	10,94	11,02
7	14,53	14,62	14,70	14,70	14,87	15,04
8	19,01	19,10	19,20	19,20	19,39	19,58
9	23,98	24,08	24,19	24,30	24,62	24,84
10	29,64	29,76	29,88	30,12	30,36	30,60
11	35,90	36,04	36,17	36,43	36,70	37,09

12	42,77	42,91	43,06	43,34	43,63	44,06
13	50,08	50,39	50,54	50,86	51,32	51,79

Производительность одной станции 70 кг/ч, следовательно, суточная производительность составит $70 \cdot 24 = 1680$ кг/сут, двух станций – 3360 кг/сут, трех станций – 5040 кг/сут. Количество времени, требуемое для полного замораживания грунта при работе двух и трех станций представлены ниже таблицы 4,5.

Таблица 4 – Количестве времени необходимое для полного замораживания грунта, при работе двух станций, сут

Длина ремонтного котлована, м.	Наружный диаметр трубопровода D_n , мм.					
	530	630	720	820	1020	1220
4	1,41	1,41	1,43	1,43	1,44	1,46
5	2,21	2,21	2,23	2,23	2,25	2,29
6	3,17	3,19	3,21	3,21	3,26	3,28
7	4,33	4,35	4,38	4,38	4,43	4,48
8	5,66	5,69	5,71	5,71	5,77	5,83
9	7,14	7,17	7,20	7,23	7,33	7,39
10	8,82	8,86	8,89	8,96	9,04	9,11
11	10,69	10,73	10,76	10,84	10,92	11,04
12	12,73	12,77	12,81	12,90	12,99	13,11
13	14,90	15,00	15,04	15,14	15,28	15,41

Таблица 5 – Количестве времени необходимое для полного замораживания грунта, при работе трех станций, сут

Длина ремонтного котлована, м.	Наружный диаметр трубопровода D_n , мм.					
	530	630	720	820	1020	1220
4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97
5	1,48	1,48	1,49	1,49	1,50	1,52
6	2,11	2,13	2,14	2,14	2,17	2,19
7	2,88	2,90	2,92	2,92	2,95	2,98
8	3,77	3,79	3,81	3,81	3,85	3,89
9	4,76	4,78	4,80	4,82	4,89	4,93
10	5,88	5,90	5,93	5,98	6,02	6,07
11	7,12	7,15	7,18	7,23	7,28	7,36
12	8,49	8,51	8,54	8,60	8,66	8,74
13	9,94	10,00	10,03	10,09	10,18	10,28

Исходя из этих данных, можно заранее определить начало процесса

заморозки перед проведением ремонтно-восстановительных работ. Количество станций зависит от срочности заморозки грунта, при высокой срочности проведения работ (аварийно-восстановительные работы) количество станций может быть увеличено. Для проведения плановых ремонтных работ вполне достаточно двух станций.

3.1.2 Расчет затрат при замораживании грунта ремонтного котлована

Проведем расчет затрат на подготовительный этап ремонта трубопровода диаметром 1020 мм, длиной котлована 12 м. Из таблиц 2–5 получаем следующие данные:

1. Расчет затрат на производство азота

Таблица 6 – Материальные затраты

Производительность двух станций, кг/сут	3360
Требуемое количество жидкого азота, т.м	43,63
Количество времени необходимое для полного замораживания грунта, при работе двух станций, сут.	12,99
Стоимость производства двумя станциями 1 кг азота, руб.	5
Итого – стоимость производства требуемого количества азота, руб.	218150

2. Расчет заработной платы

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.;
- начисления стимулирующего или компенсирующего характера
- надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др.;
- надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах Крайнего Севера и др.

– суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования.

Расчет заработной платы можно свести в таблицу 7

Таблица 7 – Расчет заработной платы

Должность	Кол-во	Норма времени на проведение мероприятия, ч.	Часовая тарифная ставка	Районный коэфф-т	Заработная плата с учетом надбавок, руб.
Машинист АКДС – 70М	2	320	85	1,3	70720
Машинист буровой машины	2	80	86	1,3	17888
Стропальщик	1	80	81	1,3	8424
Машинист самосвала	1	160	85	1,3	17680
Машинист экскаваторщик	2	80	94	1,3	19552
Линейный трубопроводчик	2	160	112	1,3	46592
ИТОГО	10				180856

3. Расчет амортизационных отчислений

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая линейную амортизацию их активной части.

Расчет амортизационных отчислений производится по формуле:

$$K = \frac{1}{n} * 100\%$$

где К - норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости объекта;

n – срок полезного использования объекта (в месяцах).

Расчет амортизационных отчислений можно свести в таблицу 5.3.3.

Таблица 8 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Гарантийный срок эксплуатации (мес.)	Количество	Балансовая стоимость, млн. руб.		Сумма ежемесячной амортизации, руб.
			одного объекта	всего	
Мобильная станция АКДС – 70М	120	2	5600	11,320	93333
Трубоукладчик «KOMATSU D155»	180	2	8,500	17,000	94444
Экскаватор «Hitachi zx330»	180	2	4,350	8,700	48333
Бульдозер «Т – 170»	120	1	2,700	2,700	22500

ИТОГО		9			258610
--------------	--	----------	--	--	---------------

4. Прочие затраты

В состав прочих затрат включаются:

- налоги, сборы, отчисления в социальные внебюджетные фонды в порядке, установленном законодательством (земельный налог, экономические платежи, плата за недра и др.);
- платежи по обязательному и добровольному страхованию имущества, учитываемого в составе ОПФ;
- расходы по обслуживанию объектов жилищной и коммунальной сферы (жилой фонд, общежития, детские сады и лагеря, базы отдыха и др.);
- расходы по маркетингу (изучение рынков сбыта продукции, реклама, участие в выставках и т.п.);
- оплата услуг связи, банков, юридических и аудиторских фирм, сторожевой и пожарной охраны, авиационных услуг и др.;
- плата за аренду помещений (площадей) и основных производственных фондов (лизинг);
- уплата процентов за банковский кредит;
- затраты на гарантийный ремонт и обслуживание;
- командировочные расходы;
- расходы по подготовке и переподготовке кадров и др.

Так как работы проводятся в условиях приравненным к крайнему северу, например, Александровский район, и при условии, что работники отработали в этих условиях не менее 3х лет, то появляется необходимость доплачивать рабочим северную надбавку, которая в этих условиях равна коэффициенту 1,3.

Расчет прочих затрат можно свести в таблицу 9

Таблица 9 – Прочие затраты

Наименование документа	Должность	Сумма, руб.
Северная надбавка в размере 1,3 от зарплаты.	Машинист АКДС – 70М	21216
	Машинист буровой машины	5366,4
	Стропальщик	2527,2
	Машинист самосвала	5304
	Машинист экскаваторщик	5865,6
	Линейный трубопроводчик	13977,6
	ИТОГО	54256,8

5. Затраты на проведение работ по искусственному замораживаю трубопровода при подземном ремонте в условиях болот

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия, результаты в таблице 10. Отчисления на социальные нужды – 30,5% от ФОТ (22% ПФР + 2,9% ФСС + 5,1% ФОМС +0,5%.

Таблица 10 – Общие затраты

Состав затрат	Сумма затрат, тыс. руб.
1. Материальные затраты	218150,0
2. Затраты на оплату труда (включая северную надбавку)	235112,8
3. Отчисления на социальные нужды	71709,4
4. Амортизационные отчисления	258610,0
Итого основные расходы	783582,2
Накладные расходы (40% от основных)	313432,9
Всего затраты на работы по замораживанию грунта	1097015,1

3.2 Экономическая эффективность замораживания грунта с использованием жидкого азота

По проведенным расчетам можно сделать вывод, что при инвестиции равной в 1097015,1 руб. ремонтируемый участок трубопровода в сложных геологических условиях болот можно подготовить к полноценному ремонту в течение 13 суток, задействовав при этом небольшое количество спецтехники и рабочего персонала. В дальнейшем данная работа приведет к водонепроницаемости котлована и позволит провести профессиональный ремонт или замену необходимого участка

трубопровода. Действие замораживания грунта без поддержки нового охладителя около 14–21 суток. Для сравнения стоимость аналогичных работ, но при условии использования в качестве хладагента рассола составляет 2358582,4 руб., что на 53,5% дороже.

$$\text{Эффект} = \frac{100}{2358582,4} * 1097015,1 = 46,5\%$$

Основные причины экономической эффективности замораживания с использованием в качестве хладагента азота является:

- время замораживания (рассольный метод – 1–2 см/сут, газовый – 10– 15 см/сут);
- следовательно, требуется меньшие затраты на оплату труда;
- более низкие материальные затраты из-за низкой стоимости производства азота.

3.3 SWOT-Анализ

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Матрица SWOT

Таблица 11

<p>Сильные стороны:</p> <p>C1. Обеспечение полноценного ремонта в течение 13 суток</p> <p>C2. Малое количество спецтехники</p> <p>C3. Простота транспортировки</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Необходимость водоотведения при отсутствии промораживания дна котлована</p> <p>Сл2. Большое количество жидкого азота для промораживания грунта</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1. Обеспечение быстрого подъезда и доставки техники</p> <p>B2. Обеспечение водонепроницаемости ремонтного котлована</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Возможное напряженно-деформированное воздействие на трубопровод</p> <p>У2. Обрушение стенок ремонтного</p>

В3. Действие охлаждения около 14-21 суток	котлована при оттаивании грунта
---	---------------------------------

4. Социальная ответственность

В данном разделе проведен анализ возможных опасных и вредных факторов при проведении ремонтных работ на нефтепроводах, проложенных в условиях болот.

Подготовленный для работ котлован должен иметь размеры, обеспечивающие удобство выполнения поставленной задачи, свободную подачу материалов, инструмента, и соответствовать техническим условиям.

Социальная ответственность – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (ГОСТ Р ИСО 26000-2012).

Магистральные трубопроводы, проложенные в Сибири, на значительном протяжении пересекают болота и заболоченные участки. Эксплуатация магистральных нефтепроводов на заболоченных участках – сложная инженерная задача, поскольку она осуществляется в условиях избыточного увлажнения грунтов при их очень низкой несущей способности.

Рабочее место расположено на открытом воздухе. Сложные грунтово-геологические условия и слабая несущая способность болотных грунтов. При ремонте нефтегазопроводов могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека.

Оказывается негативное воздействие на природу (атмосферу, гидросферу, литосферу). Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера.

4.1 Производственная безопасность

Таблица 1.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при капитальном выборочном ремонте нефтегазопроводов и применении технологии промораживания грунтов

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Сооружение подъездных путей; 2. Земляные работы; 3. Замораживание грунта по периметру ремонтного котлована; 4. Капитальный ремонт трубопровода с заменой труб; 5. Выборочный ремонт; 6. Сварочные работы; 7. Очистка и противокоррозионная изоляция;	1. Повышенный уровень шума; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу;	1. Пожаровзрывоопасность; 2. Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; 3. Поражение электрическим током 4. Электрическая дуга и металлические искры при сварке 5. Аппараты под давлением	РД 39-00147105-015-98 РД 153-39.4-067-04 ГОСТ 12.0.003-74 ГОСТ 12.1.030-81 ГОСТ 12.4.011-89 ГОСТ 12.1.004-91 ГОСТ 12.1.038-82 ГОСТ 12.2.003-91

4.1.1 Анализ вредных факторов

Повышенный уровень шума

Одним из неблагоприятных факторов, воздействующих в рабочее время, является шум. Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты. Неблагоприятное действие шума на человека зависит не только от уровня звукового давления, но и от частотного диапазона шума (наиболее важный для слухового восприятия интервал от 45 до 10000 Гц), а также от равномерности воздействия в течение рабочего времени. Согласно ГОСТ 12.1.003–83 эквивалентный уровень шума не должен превышать 80 дБА.

Таблица 1.2 Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	94	87	82	78	75	73	71	70	80

Источниками шума являются звуки, производимые работающими механизмами и оборудованием. Шум может создаваться работающим оборудованием: машинами (ЗИЛ, КАМАЗ, КрАЗ), бульдозерами и полевыми машинами.

Меры борьбы с шумом:

1. Подавление шума в источниках.

2.Предупреждение распространения шума – звукоизоляция и звукопоглощение.

3.Увеличение расстояния от источника шума.

4.Рациональный режим труда и отдыха.

5.Сокращение времени нахождения в шумовых условиях.

6.Статическая и динамическая балансировка деталей;

7. Борьба с шумом на пути распространения (экранирование рабочей зоны (постановкой перегородок, диафрагм), звукоизоляция).

8. Наушники; ушные вкладыши в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещенность рабочих мест оказывает значительное влияние на рабочий процесс. Чрезмерное или же недостаточное освещение может привести к негативным последствиям для здоровья персонала, снижает производительность труда вследствие ухудшения условий работы.

Освещение рабочего котлована должно обеспечивать необходимый уровень освещенности. Для местного освещения следует применять аккумуляторные фонари во взрывозащищенном исполнении, включение и выключение которых должно производиться вне взрывоопасных зон.

Допускается применение прожекторов в нормальном исполнении при их расположении на расстояниях от взрывоопасных объектов, требуемых ПУЭ, предпочтительно с наветренной стороны от них, в том числе:

- не менее 60м от КС, взрывоопасных помещений (сооружений);
- не менее 100м от резервуаров с сжиженными газами;

Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу

Загрязняющие вещества могут попадать в атмосферу при нарушениях в работе оборудования, износе уплотнений, ремонтных работах, связанных с разгерметизацией трубопровода.

Таким образом, в атмосферу могут попасть такие вещества, как легкие газообразные углеводороды (метан, этан, пропан, бутан), относящиеся к

четвертому классу опасности, сероводород относящийся ко второму классу опасности, этилмеркаптан относящийся ко второму классу опасности по ГОСТ 12.1.005-88

Допуск к сварочным работам возможен, если содержание вредных и горючих паров и газов не выше:

а) ПДК углеводородов $C_1 \dots C_{10}$ – 300 мг/м³, сероводорода в смеси с углеводородом $C_1 \dots C_5$ – 3 мг/м³;

б) ПДВК – 5% величины нижнего предела воспламенения данного пара или газа в воздухе для нефти – 2,1 мг/л.

Согласно ГОСТ 12.1.007-99 по степени воздействия на организм вредных веществ, данные работы следует отнести к классу веществ мало опасных, что соответствует третьему классу.

4.1.2 Анализ опасных факторов

Пожаровзрывоопасность

Предотвращение пожаров и взрывов объединяется общим понятием – пожарная профилактика. Ее можно обеспечивать различными способами и средствами:

- технологическим;
- строительными;
- организационно-техническими.

Пожарная профилактика является важнейшей составной частью общей проблемы обеспечения пожаро-взрывобезопасности различных объектов, и поэтому ей уделяется первостепенное внимание при решении вопросов защиты объектов от пожаров и взрывов. При пожаре на людей воздействуют следующие опасные факторы:

- повышенная температура воздуха или отдельных предметов;
- открытый огонь и искры;
- пониженное содержание кислорода в воздухе;
- взрывы;

– токсичные продукты сгорания, дым и т.д.

Основными причинами пожаров на производстве являются нарушение технологического режима работы оборудования, неисправность электрооборудования, самовозгорание различных материалов и другое. В соответствии с нормативным документом (ГОСТ 12.1.010-76) вероятность возникновения пожара или взрыва в течение года не должна превышать 10 (одной миллионной). Для предотвращения пожаров и взрывов необходимо исключить возможность образования горючей и взрывоопасной среды и предотвратить появление в этой среде источников зажигания. По пожарной опасности технологический процесс относится к категории А.

Ответственность за пожарную безопасность при строительстве магистрального газопровода возлагается на руководителя огневых работ. Приказ доводится до сведения всех работников, задействованных на огневых работах, и знакомятся с приказом под роспись.

Требования пожарной безопасности при проведении огневых работ устанавливаются техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности ФЗ-123 от 22.07.2008 г

Обеспечение пожарной безопасности при проведении огневых работ осуществляет назначенное приказом лицо ответственное за проведение огневых работ, а при нескольких местах огневой работы, приказом назначается лицо ответственное за выполнение мероприятий обеспечивающих пожарную безопасность.

Лица, принимающие участие в огневых работах должны ежегодно проходить обучение по пожарно-техническому минимуму со сдачей экзамена.

Осмотр места проведения и согласование в наряде-допуске на выполнение огневых работ осуществляется:

- инженерами пожарной охраны, ГО и ЧС;
- командирами отделений ведомственной пожарной охраны; лицами, ответственными за пожарную безопасность филиала (при отсутствии в штатах инженеров пожарной охраны, ГО и ЧС или командиров

отделений ВПО)

При отсутствии оформленного в установленном порядке наряда - допуска или нарушении правил пожарной безопасности работы должны быть немедленно прекращены.

Места проведения огневых работ необходимо обеспечить первичными средствами пожаротушения (ёмкости с водой, лопаты, огнетушители) в необходимом количестве.

При проведении огневых работ на участках магистральных газопроводов в двух и более местах привлекать пожарные машины (мотопомпу или пожарный автомобиль).

В опасной зоне места проведения огневых работ запрещено применять открытый огонь, разводить костры, курить.

Транспортные средства и спецоборудование, имеющее ДВС должны быть оснащены искрогасителями, а их электрооборудование и источники электроснабжения иметь исправную электросистему.

Сварщики и их помощники могут пользоваться теплоотражательными костюмами (ТОК-200).

Все принимающие непосредственное участие в огневых работах должны быть в сертифицированной спецодежде из термостойких материалов.

Транспортировка и хранение баллонов с газами должно осуществляться только с предохранительными колпаками, навинченными на их горловины. Нельзя допускать ударов и толчков при транспортировке баллонов. К месту сварочных работ баллоны должны доставляться на специальных санках, носилках или тележках,

При эксплуатации, транспортировке и хранении баллоны с газом должны быть защищены от воздействия солнечных лучей и других источников тепла.

Используемые огнетушители по окончании огневых работ необходимо перезарядить, противопожарному инвентарю провести профилактическое

обслуживание (подкраска, заточка и т.п.), мотопомпам и пожарным автомобилям провести техническое обслуживание.

Каждый случай пожара, происшедшего в результате нарушения правил пожарной безопасности при проведении огневых работ, должен быть тщательно расследован специально созданной комиссией с составлением акта. По результатам расследования должны быть разработаны дополнительные мероприятия, направленные на предотвращение подобных случаев. При необходимости следует вносить изменения в данное дополнение. [16]

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

При эксплуатации строительных машин и механизмов следует руководствоваться СНиП III-4-80. Техника безопасности в строительстве, "Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов" и инструкциями заводов-изготовителей.

До начала работы с применением машин и механизмов руководитель работы должен определить схему движения и место установки их места и способы зануления (заземления) машин, имеющих электропривод, указать способы взаимодействия и сигнализации машиниста (оператора) с рабочим-сигнальщиком, обслуживающим машины, определить (при необходимости) местонахождение сигнальщика, а также обеспечить надлежащее освещение рабочей зоны.

На месте работы машин и механизмов должно быть обеспечено хорошее обозрение рабочей зоны и маневрирование. Если машинист или моторист, управляющий машиной, не имеет достаточную обзорность рабочей зоны или не видит рабочего (специально выделенного сигнальщика), подающего ему сигналы, между машинистом и сигнальщиком необходимо установить двухстороннюю радио- или телефонную связь. Не допускается промежуточный сигнальщик для передачи сигналов машинисту.

Значение сигналов, подаваемых в процессе работы или передвижения

машины, механизма, оборудования, должно быть разъяснено лицам, участвующим в работе. В зоне работы оборудования должны быть установлены знаки безопасности и предупредительные надписи. Запрещается оставлять без надзора оборудование, машину с работающим (включенным) двигателем.

При погрузочно-разгрузочных работах следует руководствоваться ГОСТ 12.3.009-76, СНиП III-4-80.

Такелажные приспособления (пеньковые канаты, тросы, стропы, цепи) и грузоподъемные механизмы (тали, лебедки, краны), применяемые при эксплуатации и ремонте, должны быть проверены и снабжены клеймами или бирками с указанием допустимых нагрузок, дать приведенного и очередного испытания.

При подъеме или перемещении грузов должна быть освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов.

При погрузке и разгрузке труб должны быть приняты меры против самопроизвольного их скатывания со штабелей или транспортных средств.

Поражение электрическим током

Источником поражения током является: электрические провода, вспомогательное оборудование работающие от электричества.

Электрический удар – это возбуждение живых тканей током, сопровождающееся сокращением мышц. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает на него сложное действие, включая термическое, электролитическое и биологическое.

Безопасность при работе обеспечивается применением различных технических и организационных мер:

- установка оградительных устройств;
 - изоляция токопроводящих частей и её непрерывный контроль;
- согласно ПУЭ сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 - 10 Ом·м; защитное заземление, использование знаков безопасности и

предупреждающих плакатов (СНиП 12.1.030-81.ССБТ) [20]

В состав бригады входит электрик. К работе с электрооборудованием допускаются лица, прошедшие специальное обучение и имеющие соответствующую группу допуска по электробезопасности согласно "Перечню профессий и должностей работников службы ЛЭС, которые должны иметь соответствующую группу допуска по электробезопасности". Весь состав проходит инструктаж по электробезопасности.

Все металлические корпуса сварочных аппаратов должны быть надежно заземлены. Электрическая проводка должна обязательно иметь неповрежденную изоляцию. Розетки и вилки должны быть исправными. Около розеток обязательно должна быть надпись о величине напряжения.

Электрическая дуга и металлические искры при сварке

Электросварщик в процессе своей трудовой деятельности подвергается комплексному действию целого ряда вредных и опасных производственных факторов химической и физической природы: инфракрасное излучение, брызги и искры расплавленного шлака и металла, сварочный аэрозоль.

Такие факторы приводят к профессиональным заболеваниям и травматическим повреждениям. Прочие вредности: образование аэроионов, электромагнитные поля, шум, газы имеют не такое большое значение и, как правило, не вызывают профессиональных заболеваний.

Спектр излучения сварочной дуги включает в себя диапазон волн инфракрасных (от 3430 до 760 нм), видимого излучения (от 760 до 400 нм) и диапазон ультрафиолетового излучения (от 400 до 180 нм). Доля инфракрасного излучения при этом составляет 30÷70% всей энергии излучения дуги. Инфракрасное излучение может привести к профессиональной катаракте. Видимый свет электрической дуги является нестерпимо ярким. Долгое время смотреть на него невозможно, поэтому ни у кого из сварщиков не вызывает сомнения необходимость применения световых фильтров. С точки зрения охраны труда самое большое значение

имеет ультрафиолетовая часть спектра. Даже кратковременное воздействие ультрафиолетовых лучей на незащищенный глаз способно привести к ожогам роговой оболочки, электроофтальмии. [6]:

Сварочным аэрозолем называется совокупность мельчайших частиц, которые образуются вследствие конденсации паров расплавленного шлака, металла, покрытия электродов. Состав сварочного аэрозоля зависит от состава свариваемых и сварочных материалов. В силу своих мельчайших размеров (иногда менее 1 мкм) сварочный аэрозоль беспрепятственно проникает в легочные альвеолы (глубинные отделы легких) и частично остается на их стенках, вызывая пневмокониоз сварщика, частично всасывается в кровь.

Чтобы избежать описанного негативного действия производственных факторов, характерных для электросварки, следует не допускать облучения сварочной дугой открытых участков кожи и глаз, защищать их от попадания брызг и искр шлака и металла и, наконец, препятствовать попаданию сварочного аэрозоля в дыхательные органы.

Работники, занятые производством электросварочных и газопламенных работ, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты, в соответствии с Правилами обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты.

Применяемые средства индивидуальной защиты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011.

Выбор СИЗ лица и органов зрения должен производиться в зависимости от методов, режимов и видов работ, интенсивности излучения, индивидуальной особенности зрения. Для защиты глаз от излучения, искр и брызг расплавленного металла и пыли должны применяться защитные очки типа ЗП и ЗН. Выбор защитных очков следует производить в соответствии с требованиями. Допускается использование световых фильтров.

При ручной сварке, механической и ручной газовой резке, газовой

выплавке пороков металла, газовой строжке и при нагреве изделий и ПН газорезчики и газосварщики должны быть обеспечены защитными очками закрытого типа со стеклами марки ТС-2, имеющими плотность светофильтров ГС-3, при использовании резаков (горелок) с расходом ацетиленом до 750 л/ч, ГС-7 - до 2500 л/ч и ГС-12 - свыше 2500 л/ч.

Вспомогательным рабочим, работающим непосредственно со сварщиком, резчиком или работником, выполняющим ПН, рекомендуется пользоваться защитными очками со стеклами марки СС-14 со светофильтрами П-1800. Для защиты лица при зачистке, закалке, резке, сварке, нагреве и ПН работники должны обеспечиваться щитками в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.023. Для ГОМ и ПН рекомендуется применять щитки типа: НФ - с наголовным креплением, корпус щитка - светофильтрующий; КФ - щитки с креплением на каске, корпус щитка светофильтрующий; РФ - щиток с ручкой, корпус щитка.

Спецодежда должна быть безвредной, удобной, не стеснять движения работающего, не вызывать неприятных ощущений, защищать от искр и брызг расплавленного металла, свариваемого изделия, влаги, производственных загрязнений, механических повреждений, отвечать санитарно-гигиеническим требованиям и условиям труда. Выбор спецодежды в зависимости от методов сварки и условий труда должен производиться в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12.4.044 и ГОСТ 12.4.010.

Для защиты рук при сварке, наплавке, ПН и резке работники должны обеспечиваться рукавицами, рукавицами с крагами или перчатками, изготовленными из искростойкого материала с низкой электропроводностью.

Запрещается использовать рукавицы и спецодежду из синтетических материалов типа лавсан, капрон и т.д., которые не обладают защитными свойствами, разрушаются от излучений сварочной дуги и могут возгораться от искр и брызг расплавленного металла, и спекаться при соприкосновении с

нагретыми поверхностями.

При сварке цветных металлов и сплавов, содержащих цинк, медь или свинец, сварщик должен пользоваться и соответствующим противогазом.

При зачистке сварных швов от шлака и графа работники должны быть в предохранительных очках.

Для подвода тока к электродержателю должны применять гибкие изолированные провода, защищенные от повреждений. Запрещается применять провода с нарушенной изоляцией.

Сварочный аппарат и вспомогательные устройства должны располагаться не ближе 20м от места огневой работы.

После окончания работы или перерыва в ней электросварочный аппарат должен быть выключен.

4.2 Экологическая безопасность

4.2.1 Анализ влияния возможного попадания загрязняющих веществ в окружающую среду при ремонте нефтегазопроводов Мероприятия по защите атмосферы:

1. Проверка оборудования на прочность и герметичность.
2. Неукоснительное соблюдение согласованных технологических режимов работы оборудования.
3. Своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры.
4. Использование системы контроля загазованности.

4.2.2 Защита гидросферы

Особое отрицательное воздействие на химический состав водоемов при эксплуатации объектов нефтедобычи оказывают разливы нефти и вод с высокой минерализацией. При попадании нефти в водоемы на поверхности воды образуется пленка, препятствующая воздушному обмену.

Пути попадания токсичных загрязнений в природные воды:

- поступление токсичных веществ из шламовых амбаров в грунтовые воды;

- загрязнение грунтовых вод в результате отсутствия гидроизоляции технологических площадок;
- попадание загрязнений в грунтовые воды при аварийных разливах нефти, сточных вод и других отходов в результате порывов трубопроводов.

Основные мероприятия по охране поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения:

- отвод и обезвреживание сточных вод;
 - уничтожение мусора;
- сооружение водоотводов, накопителей, отстойников.

Существуют различные методы очистки воды от нефти:

1. Механическая очистка;
2. Химическая очистка;
3. Физико-химическая очистка;
4. Биологический метод очистки.

4.2.3 Защита литосферы

Загрязнение почв нефтью приводит к значительному экологическому и экономическому ущербу: понижается продуктивность лесных ресурсов, ухудшается санитарное состояние окружающей среды.

Земельные участки, отведенные в постоянное пользование, благоустраиваются с использованием предварительно снятого почвенно-растительного слоя. Земли, передаваемые во временное пользование, подлежат восстановлению (рекультивации). Земельные участки приводятся в пригодное для использования по назначению состояние в ходе работ, а при невозможности этого не позднее, чем в течение года после завершения работ.

Согласно требованиям лесного хозяйства организации, выполняющие строительные работы обязаны:

- обеспечить минимальное повреждение почв, травянистой и моховой растительности;
- произвести очистку лесосек и ликвидировать порубочные остатки;

- не допускать повреждения корневых систем и стволов опушечных деревьев.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.3.1 Анализ вероятных ЧС при проведении ремонтных работ в болотистых условиях

Чрезвычайные ситуации, происходящие на опасных производственных объектах можно разделить на следующие: ЧС стихийного, социального, экологического и техногенного характера.

Наиболее частой является ЧС техногенного характера. В основе аварий могут лежать, как технические причины (износ оборудования, его разрушение, нарушение технологического процесса, отказ электроники и механических средств, предотвращения появления опасных факторов, таких как повышение давления), так и человеческий фактор.

Чрезвычайные ситуации на трубопроводном транспорте могут возникнуть по различным причинам, например:

- паводковые наводнения;
- лесные пожары;
- террористические акты;
- по причинам техногенного характера (аварии) и др.
- Аварии могут привести к чрезвычайным ситуациям.
- Возможными причинами аварий могут быть:
- ошибочные действия персонала при производстве работ;
- отказ приборов контроля и сигнализации;
- отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии;
- производство ремонтных работ без соблюдения необходимых организационно-технических мероприятий;
- старение оборудования (моральный или физический износ);
- коррозия оборудования;
- гидравлический удар;
- факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.).

Возможные аварии на магистральном газопроводе могут возникнуть в результате внезапной разгерметизации линейной части, которая может наступить по нескольким причинам.

Она происходит в результате образования свища, трещины на трубе, фасонных частях или оборудовании линейной части, а также в случае аварийного отказа в работе запорной арматуры, которые возникают вследствие следующих факторов:

а) общие коррозионные повреждения, уменьшившие толщину стенки трубы до величины, которая меньше необходимой для обеспечения прочности магистрального трубопровода при максимально разрешенном рабочем давлении газа, питтинговые коррозионные повреждения, создающие реальную угрозу возникновения утечки газа;

б) любые воздействия, создающие сверхнормативные нагрузки на трубопровод, или его перемещения в пространстве в результате стихийных явлений, происходящих в окружающей среде (землетрясения, паводки, оползни и др.), механических воздействий техники, отрицательно влияющих на безопасность эксплуатации объекта;

в) любые виды дефектов или трещинообразования материала оборудования и трубопроводов, которые снижают прочность и требуют для обеспечения безопасности отключения объекта или уменьшения рабочего давления на 20% и более от установленной величины;

г) возникновение гидратной пробки, из-за чего которой создается давление, которое превышает максимально допустимое рабочее давление;

д) проведение террористических и диверсионных актов.

Утечка газа может быть обнаружена приборами-газоанализаторами, а также «на слух» и визуально по следующим характерным признакам:

- потемнение снежного покрова вокруг места утечки;
- появление на водной поверхности пузырьков в обводнённых местах;

- изменение цвета окружающей растительности;
- запах и шум газа.

При выявлении утечки с непрерывным выходом газа линейным трубопроводчиком должны быть приняты меры по скорейшему оповещению диспетчерской службы, руководителя подразделения, по оценке размеров загазованной зоны (до 20 % НПВ), опасности для населённых пунктов и других объектов и отключению повреждённого участка. В случае аварии с выходом значительных объемов газа в близости дороги, населённого пункта, или водной артерии линейный трубопроводчик с целью предупреждения несчастных случаев до прибытия аварийной бригады обязан:

- до прибытия ремонтно-восстановительной бригады находиться за пределами зоны загазованности в районе повреждения;
- предупредить об опасности распространения пламени и соблюдения ими правил безопасности жителей близлежащего пункта;
- организовать при необходимости объезд или выставить знаки, запрещающие въезд в опасную зону транспорта;
- выставить на расстоянии не менее 300 м от места повреждения трубопровода предупредительные знаки.

- Сопровождается резким хлопком, который напоминает взрыв с последующим сильным шумом, выбросом кусков металла, грунта в радиусе до 300 м. Как правило, происходит с возгоранием потока газа. Зона термического воздействия при горении составляет 300 м и представляет наибольшую опасность для сооружений, объектов, людей.[7]

При разрыве без возгорания опасность представляет взрывная волна и возможность в любой момент взрыва (возгорания) потока газа. По этой причине до полного прекращения выхода газа категорически запрещается приближаться к месту разрыва газопровода ближе 500 м.

При значительном расстоянии от места аварии разрыв трубопровода определяется по резкому и прогрессирующему падению давления в

газопроводе с обеих сторон от места разрыва.

Обнаруживший аварию должен немедленно сообщить о ней сменному инженеру и на коммутатор и принять меры к локализации аварии.

До подъезда аварийно-ремонтной бригады, к месту аварии для взятия проб воздуха и выяснения обстановки пешком должна направляться бригада из трех человек. Транспорт двигается вслед за бригадой с интервалом не менее 100 м. Продвижение возможно до тех пор, пока бригада не обнаружит в воздухе пары углеводородов, содержание которых превышает 20% от нижнего предела взрываемости.

После этого по сигналу старшего бригады средства транспорта должны быть остановлены. Если ветер от загазованной зоны направлен в сторону транспортных средств, они должны быть отведены назад. Бригада путем замеров должна определить границы загазованной зоны и установить на ней соответствующие знаки. Персонал должен входить в загазованную зону только в противогазах изолирующих.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

С целью охраны окружающей среды при аварийно-восстановительных работ на МН должны предусматриваться:

- соблюдение всех действующих стандартов, норм и правил в области охраны окружающей среды, а также СНиП 2.05.06-85*; СНиП III-42-80*; ВСН 014-89;

- рациональное использование природных ресурсов;

- своевременная ликвидация последствий загрязнения окружающей среды (локализация нефтепродукта в местах утечки с применением боновых заграждений, сбор нефтепродукта с поверхности водоема путем отвода в котлован, с помощью распыления перлита);

- разработка и осуществление на всех уровнях управления производством мероприятий по охране окружающей среды и сокращению потерь нефтепродуктов.

Организация, выполняющая аварийно-восстановительные работы на МН, несет ответственность за соблюдение проектных решений, связанных с охраной окружающей среды, а также за соблюдение государственного законодательства и международных соглашений по охране природы.

Представленные во временное пользование сельскохозяйственные и лесные угодья должны быть возвращены в соответствии с «Основными положениями о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя».

При проведении аварийно-восстановительных работ на МН должны быть определены мероприятия по опорожнению ремонтируемого участка.

После окончания аварийно-восстановительных работ на МН должна быть проведена рекультивация нарушенных территорий при ремонте.

Работы по ликвидации аварий и их последствий должны выполняться с соблюдением требований пожарной безопасности, изложенные в «Правилах противопожарного режима в РФ», в РД-13.220.00-КТН-211-12 «Правила пожарной безопасности на объектах организации системы АК «Транснефть» и другой действующей НТД.

К производству работ по ликвидации аварий на МН допускаются лица, прошедшие вводный (первичный) инструктаж о мерах пожарной безопасности и курс обучения по пожарно-техническому минимуму.

Перед началом работ руководитель работ должен дополнительно проинструктировать персонал и привлеченных к ликвидации аварии работников о правилах пожарной безопасности, методах и способах ведения работ во взрыво- и пожароопасных условиях.

Ответственность за обеспечение пожарной безопасности при проведении аварийно-восстановительных работ на МН возлагается на руководителя аварийно-восстановительных работ, или лицо, назначенное приказом.

При проведении огневых работ в случае необходимости должны выставляться пожарные посты из членов добровольной пожарной дружины,

или личного состава пожарной охраны.

В случае возникновения пожароопасной ситуации на МН персонал аварийно-восстановительных работ и лица, ответственные за обеспечение его пожарной безопасности и утвержденным планом ликвидации аварии.

Все электрооборудование, металлическая облицовка и рама передвижного вагончика, используемого для отдыха рабочих, обогрева и приема пищи в период выполнения аварийно-восстановительных работ, должно быть надежно заземлены. Подача электроэнергии в незаземленные вагончики не допускается.

Заключение

В данной работе я рассмотрел существующие методы ремонта магистральных нефтепроводов в условиях грунтов со слабой несущей способностью, а так же рассмотрел возможность использования метода замораживания грунта для обеспечения устойчивости грунта и защиты от проникновения воды при строительстве ремонтного котлована и проведении ремонтных работ.

В результате анализа средств доставки и производства жидкого азота, оценки их достоинств и недостатков, был выбран наиболее применимый к условию болот - станции для производства кислорода и азота МКДС - 100К. Количество станций зависит от длины котлована и срочности ремонтных работ. При малых объемах работ жидкий азот можно доставлять в специальных цистернах.

Были рассчитаны параметры замораживания грунтов жидким азотом, для сооружения котлована на магистральном нефтепроводе наружным диаметром 1020 мм, с углом откоса 63 градуса, при различной длине ремонтного котлована. Рассчитаны:

- необходимое количество замораживающих колонок
- объем замороженного грунта по периметру котлована
- масса жидкого азота, необходимая для заморозки грунта
- время замораживания грунта
- количество станций, для замораживания грунта

Эти параметры были рассчитаны для катушек и для участков трубопроводов разной длины с целью оценки целесообразности применения способа замораживания, для сооружения котлованов различной длины. Данный способ наиболее актуален для ремонта катушек, т.к. при использовании его для ремонта участка трубопровода возрастают энергозатраты и экономический фактор.

Стоит заметить, что в данной работе была рассмотрена возможность использования метода замораживания грунта. Конкретные данные по скорости замораживания, требуемому объему жидкого азота можно получить лишь только на практике, при конкретных испытаниях по замораживанию грунта в условиях болот.

Способ замораживания еще не применялся в ремонтных работах на нефтегазопроводах.

Метод замораживания грунта является новым способом и пока не использовался при проведении ремонтно-восстановительных работ. При правильном использовании и в сочетании с отводом воды, он может являться эффективной альтернативой использованию шпунтов и РГК. Также данный метод можно использовать для строительства временных амбаров на болотах, что тоже достаточно затруднено.

Список литературы

1. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра, 1990. – 220 с.
2. АЭС «Фукусима» [Электронный ресурс] // Frost 3D Universal – Электронн. Данные. – URL: <http://frost3d.ru/fukusima-zamorazhivanie-grunta/> (дата обращения 10.03.2018).
3. Бородавкин П.П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986, 224 с.
4. Васильев С.Г. Подземное строительство неглубокого заложения. – Львов: В. Школа, 1980. – 176 с.
5. Вершинин В.Н., Мельникович Я.Д. и др. Из опыта строительства и капитального ремонта магистральных нефтепроводов в условиях болот на севере России / Трубопроводный транспорт нефти. 1999. – с. 11-14.
6. ВНИИОМШС Вопросы организации и механизации горнопроходческих работ: Сб. науч. Тр. – Харьков: 1979. С. 89-94.
7. ВТУ МИЭАЗ 1653-126. Временные технические условия на монтаж, испытания и эксплуатацию системы азотного замораживания. – 300 – Л.: Ленметрогиптранс, 1987, - 46 с.
8. Вялов С.С., Зарецкий Ю.К., Городецкий С.Э. Расчеты на прочность и ползучесть при искусственном замораживании грунтов. - Л.: Стройиздат, 1981. – 199 с.
9. Вялов С.С., Плющинский В.Г., Городецкий С.Э и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчеты ледогрунтовых ограждений – М.: Изд. АН СССР, 1962. – 254 с.
10. Гороховский В.М. Механика грунтов / В.М. Гороховский. – М.: изд. Ростовского университета, 1988. – 160 с.
11. Гулый С.А. Метод промораживания грунта естественным холодом для защиты котлована от грунтовых вод / С. А. Гулый // Magazine of Civil Engineering. 2015. №3.С. 30-35.

12. Демидюк Л.М., Спиридонов В.В. и др. К вопросу классификации болот при трубопроводном строительстве. М.: Издательство Информнефтегазстрой, 1980. Вып. 4. С. 13-21.
13. Димов Л.А., Богушевская Е.М. Перемещения подземных сооружений от горизонтальной нагрузки. Ухта: УГТУ, 2008. – 128 с.
14. Замораживание грунтов [Электронный ресурс] // Горная энциклопедия Аа-лава – Яшма. – Электронн. Данные. – URL: <http://www.mining-enc.ru/z/zamorazhivanie-gruntov/> (дата обращения: 14.03.2018).
15. Картозия Б.А. Исследование механических процессов в породных массивах с искусственной неоднородностью и разработка методов их прогнозирования в подземном строительстве: Дис. ... д-ра техн. наук. – М. 1979. – 372 с.
16. Картозия Б.А., Баклашов И.В., Расчет ледопородного ограждения с учетом переменного поля температуры // Сооружение горных выработок: Сб. науч, тр. –М.: МГИ, 1973, Вып. 7. С. 30-37.
17. Ледяная стена «Фукусимы». Как японцы заморозили 320 миллионов долларов [Электронный ресурс] // Энергетика в России и мире. – Электронн. Данные. – URL: <http://peretok.ru/articles/freezone/13734/> (дата обращения: 22.03.2018).
18. Ледяная стена вокруг АЭС «Фукусима-1» активирована [Электронный ресурс] // Новости высоких технологий. – Электронн. Данные. – URL: <https://hi-news.ru/technology/ledyanaya-stena-vokrug-aes-fukusima-1-aktivirovana.html> (дата обращения: 13.03.2018).
19. Либерман Ю.М. Метод расчет толщины стенки ледопородного цилиндра. В кн.: Замораживание горных пород при проходке стволов шахт. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 194-217.
20. Магистральные трубопроводы в условиях болот и обводненной местности / Димов Л.А. [и др.] - М.: Издательство «Горная книга», 2010 – 392 с.

21. Методы ремонта дефектных участков действующих магистральных нефтепроводов: РД 153-39.4-067-04: утв. Письмом ОАО «АК «Транснефть» № 16-01-11/2682 от 10.03.2004.

22. Механика грунтов. Основы геотехники в строительстве / Б.И. Далматов [и др.]; под ред. Б.И. Далматова, 2013. – 200 с.

23. Мишедченко А.Д. Из опыта крепления стволов на калийных рудниках. Реферативная информация о передовом опыте. Серия 5. Специальные работы в промышленном строительстве. Изд. Министерства специальных монтажных работ СССР. 1968.

24. Мишедченко А.Д. Сооружение крепи шахтных стволов, проходимых в сложных горно-геологических условиях. Пути ускорения сооружения стволов и скважин большого диаметра. ЦНИЭИуголь. Донецк, 1983. 38-39.

25. Мишедченко О.А. История развития способа искусственного замораживания пород / О.А. Мишедченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. С. 226.

26. Панькин В.А., Гальченко П.П., Болотских Н.С. Проведение горизонтальных и наклонных выработок специальными способами. – М.: Недра. 1975. – 167 с.

27. Пекарская Н.К. Прочность мерзлых грунтов при сдвиге и ее зависимость от текстуры. – М.: Инд-во АН СССР, 1963. – 108 с.

28. Правила капитального ремонта магистральных нефтепроводов: РД 39-00147105-015-98: утв. Акционерной компанией «Транснефть» 29.06.1998 – Уфа. С. 153.

29. Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах: РД 153-39.4-114-0: утв. Акционерной компанией «Транснефть» 28.12.2001.

30. Пржедецкий Б.М., Шуплик М.Н., Жуков И.В. Искусственное замораживание грунтов при реконструкции здания МХАТ // Метрострой. – 1988. - №3. – С. 7-8.

31. СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы».
32. Трупак Н.Г. Замораживание горных пород при проходке стволов. М.: Углетехиздат, 1954. – 895 с.
33. Трупак Н.Г. Замораживание грунтов в подземном строительстве. М.: Недра, 1974. – 280 с.
34. Трупак Н.Г. Замораживание пород при сооружении вертикальных шахтных стволов. М.: Недра, 1983. 270 с.
35. Тютюник П.М. Прочность и устойчивость замороженных горных пород. – М.: Недра, 1965. – 78 с.
36. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В. [и др.] Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. Пособие М55 для строит. Спец. Вузов. – М.: Высш. Шк., 2009. – 566 с.: ил.
37. Фукусима: выдержит ли ледяная стена [Электронный ресурс] // Новостной сайт Эксперт online. – Электронн. Данные. – URL: <http://expert.ru/2016/08/31/yaponskij/> (дата обращения: 13.03.2018).

Приложение А
(справочное)

**Optimization of artificial ground freezing in tunneling in seepage
flow conditions**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Самсонов А.С.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крец В.Г.	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОИЯ ШБИП	Коротченко Т.В.	к.ф.н., доцент		

Optimization of artificial ground freezing in tunneling in of seepage flow conditions

Artificial ground freezing is an environmentally friendly technique to provide temporary excavation support and groundwater control during tunnel construction under difficult geological and hydrological ground conditions. Evidently, groundwater flow has a considerable influence on the freezing process. Large seepage flow may lead to large freezing times or even may prevent the formation of a closed frozen soil body. For safe and economic design of freezing operations, this paper presents a coupled thermo- hydraulic finite element model for freezing soils integrated within an optimization algorithm using the Ant Colony Optimization (ACO) technique to optimize ground freezing in tunneling by finding the optimal positions of the freeze pipe, considering seepage flow. The simulation model considers solid particles, liquid water and crystal ice as separate phases, and the mixture temperature and liquid pressure as primary field variables. Through two fundamental physical laws and corresponding state equations, the model captures the most relevant couplings between the phase transition associated with latent heat effect, and the liquid transport within the pores. The numerical model is validated by means of laboratory results considering different scenarios for seepage flow. As demonstrated in numerical simulations of ground freezing in tunneling in the presence of seepage flow connected with the ACO optimization algorithm, the optimized arrangement of the freeze pipes may lead to a substantial reduction of the freezing time and of energy costs.

1. Introduction

Artificial ground freezing (AGF) is an effective temporary ground improvement technique in geotechnical interventions in soft soils. It is a reversible process with no environmental impact to improve the hydro-mechanical properties (strength, stiffness and permeability) of the soil and

to provide a local supporting structure. AGF has several applications in geotechnical engineering including slope stabilization, ground water control and excavation support during underground construction. In tunnel construction in difficult geological and hydrological ground conditions, e.g. in water-bearing soft ground, auxiliary ground improvement measures such as soil grouting or artificial ground freezing (AGF) are often applied to provide temporary excavation support and groundwater control. AGF has been commonly used in the last 20 to 30 years as a method to reliably mitigate risks of damage of existing structures during tunnel construction, in particular in tunnel excavation with low overburden in sensible urban areas, and to efficiently control the groundwater during tunnel advancement (see e.g. [24,20,41,25,27,36,40,37]). When applying AGF in tunneling, a closed arch of frozen ground is formed after a period of time around the excavated area, which provides a protected area for the excavation of the tunnel cross-section.

The ground freezing process converts pore water into ice by withdrawing heat from the soil. Depending on the coolant, there are mainly two types of AGF in use: brine freezing and liquid nitrogen (LN₂) freezing. Brine freezing is characterized by a closed circulation system by using refrigeration plants. The brine (usually calcium chloride CaCl₂), cooled typically down to temperatures ranging from -20 °C to -37 °C, flows through a manifold system before returning to the refrigeration plant, where it is chilled and recirculated. Liquid nitrogen freezing extracts the heat from the soil through direct vaporization of the cryogenic fluid (LN₂) in the freeze pipes. The LN₂, usually stored in an insulated pressure vessel, is fed into the inner pipes through a surface manifold system. In the annulus between the freeze pipe and the inner pipe, it starts to vaporize at -196 °C after withdrawing heat from the soil on its way up, and is vented directly into the atmosphere. With the ice binding the soil particles, the strength and impermeability of the frozen soil body are significantly improved. In

general, the time to establish a desired thickness of a frozen soil body with full temporary load carrying capacity depends on the type of coolant used in the freezing process and on the freeze pipes in terms of size, number and spacing.

The required freezing time is considerably influenced by the presence of seepage flow, since the flow provides a continuous source of heat. In case of large seepage flow, a state of thermal equilibrium can be reached, in which freezing stops and the closure of desired frost wall cannot be developed. Evidently, as an important indicator for energy consumption and hence operating cost, the required freezing time increases substantially with increasing seepage velocity.

For a safe and economic geotechnical design and construction, a reliable prediction of the coupled thermo-hydraulic behavior of the soil during freezing is required. The continuum mechanics description of porous materials as a multi-phase material whose behavior is influenced by the interaction of the solid skeleton and the pore fluids can be accomplished by the Theory of Porous Media (TPM) (see, e.g. [8,14]). By integration of the Theory of Mixtures [45] with the concept of volume fractions, the TPM allows a description of the individual phases and their interactions within porous media on an a priori macroscopic scale of observation, and constitutes a suitable basis for modeling of freezing processes in soils, such as the three-phase freezing soil models developed by Kruschwitz and Bluhm [28] and Bluhm and Ricken [1]. In addition to the TPM, another well-established description for the complex behavior of porous materials during freezing is the theory of thermo- poromechanics proposed by Coussy and Monteiro [6] and Coussy [4,5], which specifies the multi-scale physics of confined crystallization of ice and provides a more physics-based understanding by means of exploring how the macroscopic properties can be upscaled from the knowledge of properties at lower scales. As far as physics-based modeling is concerned, the premelting

dynamics theory developed by Rempel et al. [39] and Wettlaufer and Worster [46] provides an excellent interpretation of the essential contribution of the premelted film water to the generation of frost heave.

By adapting the theory of thermoporomechanics and the theory of premelting dynamics, the authors have developed in an earlier publication [47] a three-phase finite element model for the description of coupled thermo-hydro-mechanical behavior of freezing soils. In this numerical model, solid particles, liquid water and crystal ice are considered as separate phases, and the mixture temperature, liquid pressure and solid displacement as primary field variables. Through three fundamental physical laws (overall entropy balance, mass balance of liquid water and crystal ice, and overall momentum balance) together with corresponding state relations, the model captures the most relevant couplings between the phase transition associated with latent heat effect, the liquid transport within the pores, and the accompanying mechanical deformation. In this paper, since the ground freezing operation will only be investigated as a means for groundwater control during tunneling, with the analysis focusing on the influence of groundwater flow on the formation of the required frozen arch, the mechanical aspect (i.e. the displacement field) will be neglected for the sake of simplification. In other words, a coupled thermo-hydraulic freezing soil model is deduced from the original numerical model and will be used for the simulations presented in this paper.

Considering the high energy costs connected with soil freezing, there is a strong economic interest to minimize the time needed to establish a fully frozen soil body with the desired dimensions, considering the influence of seepage flow. With this background, the main focus of this paper is on the optimization of the arrangement of freeze pipes during ground freezing in tunneling in the presence of seepage flow. Among the few available publications concerned with optimization of AGF operations in tunneling [48] have presented two optimized placements of freeze pipes,

both of which have showcased a significant reduction in the freezing time with two extra freeze pipes. In contrast, the goal of the present paper is on the investigation of optimal pipe placements considering different levels of seepage flow, however, without increasing the pipe numbers.

To this end, the multi-field finite element model for the numerical modeling of the freezing process is connected with a suitably designed optimization algorithm. For the highly nonlinear, multidimensional problem at hand, meta-heuristic methods have significant advantages as compared to gradient based methods [22]. Instead of computing the gradient or Hessian matrix of the objective function, stochastic approaches are used in meta-heuristic approaches. This significantly increases the ability to find optimal or near optimal solutions specially for complex problems with multiple local minima. Within the family of meta-heuristic optimization methods a number of specific algorithms such as Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithms, Ant Colony Optimization and Particle Swarm Optimization has been developed (see [16,2] for an overview). Ant Colony Optimization (ACO) is a probabilistic technique, belonging to the class of swarm intelligence algorithms, which aims to search the optimal path within a graph. Inspired by the foraging behavior of ants, this approach mimics the behavior of the ants seeking a path between their colony and a source of food [11]. Ants use pheromones as a communication medium when searching for food. They deposit pheromone trails on the ground to mark food paths where these trails should be followed by other ants of the colony [17]. While along successful (shorter) paths the pheromone level increases, the pheromone level also may “evaporate” along less successful (longer) paths. Similarly, ACO uses artificial pheromone trails as an indirect communication tool to find the most efficient path towards the optimum of a target function. The pheromone trails and its update scheme serve as numerical information that

improves the search probability to select optimal solutions. Pheromone evaporation avoids convergence to local minima of the objective function.

The first algorithm for ACO was proposed in the early 1990s as a novel technique for solving difficult combinatorial optimization problems (see e.g. [9,13]). Subsequently, different algorithms including ant colony system [12] and Max-Min Ant System [44] were introduced. Later, ACO was extended to solve multiobjective optimization problems. Multi-objective ACO is composed of an underlying ACO algorithm plus specific algorithmic components to tackle multi-objective optimization. This can be achieved in different fashions such as using different pheromone matrices for each objective or using multi-colony approach with one colony for each objective (see [23,33]). ACO was also adopted to continuous optimization problems. Socha and Dorigo [42] proposed ACOR; the most popular ACO algorithm for continuous domains. Extensions of ACOR to Diverse ACO (DACOR) and Incremental ACO (IACOR-LS) were proposed in Leguizamón and Coello [30] and Liao et al. [31]. DACOR uses the same basic principle of ACOR. However, it generates new solutions by considering an alternative approach to select probabilities for producing solutions. IACOR-LS is an ACOR with an extra search diversification mechanism and a local search procedure that enhance its search intensification abilities. Recently, a unified algorithm, which includes the previous algorithmic components for continuous optimization with ACO, was presented in Liao et al. [32].

A successful implementation of a meta-heuristic search shall provide a balance between the exploration and the exploitation. Exploration achieves diversification; it aims to efficiently explore the whole search space. Exploitation means intensification as it searches around current best solution to find better solutions. Less exploration with much exploitation could trap the algorithm in a local optima. In contrast, more exploration

with less exploitation could reduce the algorithm performance and efficiency. In ACO, such a balance can be typically maintained by the proper management of the pheromone trails. This is achieved by the appropriate choices for the pheromone trail update scheme to improve the diversity of the search [44]. Similar to other heuristic optimization techniques, ACO attempts to intelligently find optimum solutions. It is noted that the global optimum solution cannot be always found at acceptable computational costs (see [19]). However, generally, ACO was successfully applied to different problems and it is increasingly gaining interest for solving engineering and scientific problems such as design and optimization of laminated structures, analysis of water resources systems, optimization of computer systems and optimization of traffic signal timings (see [35]).

In this paper, the Ant Colony Optimization algorithm is connected to the multfield finite element model for ground freezing [47] in order to find optimal positions of freeze pipes in applications of artificial soil freezing in tunneling such that a minimum freezing time required to establish a fully frozen soil arch around the tunnel cross section is obtained. For a given seepage velocity, the optimized solution presents a cost effective pipe arrangement for ground freezing in tunneling with minimal energy consumption.

The remainder of the paper is structured as follows: Section 2 presents the ingredients of the three-phase finite element model for the description of the coupled thermo-hydraulic behavior of freezing soil. In Section 3 the Ant Colony Optimization algorithm is introduced with focus on the update of pheromone trails. The numerical model for soil freezing is applied in Section 4 to a case study on AGF in tunneling first investigating specifically the influence of the seepage flow on the freezing process, followed by an application of the proposed optimization algorithm to

demonstrate the improvement of the freezing efficiency by optimizing the positioning of freeze pipes for different seepage velocities.

2. Numerical modeling of soil freezing

In this section, the main ingredients of a finite element model for soil freezing, which constitutes the basis for solving the forward problem involved in the optimization of the freezing process are summarized. A full description of the model components is contained in Zhou and Meschke [47]. The model for frozen soils is formulated within the framework of the theory of thermo-poro-mechanics [4,5]. The coupled thermo-hydraulic behavior of soft soil subjected to freezing is described by the liquid-crystal equilibrium relation and the liquid saturation curve, together with the governing balance equations. The presented freezing soil is modeled as a three-phase porous material, consisting of solid particle (subscript S), liquid water (subscript L) and crystal ice (subscript C) as shown in Fig. 1. It is assumed that the pore volume is at all time fully-saturated – partly occupied by ice crystals (subscript J = C) and partly occupied by the water remaining in liquid form (subscript J = L). Denoting φ_J as partial porosity related to phase J, the porosity φ is written as

$$\varphi = \varphi_L + \varphi_C \text{ with } \varphi_J = \varphi \chi_J \quad (1)$$

where χ_J is the respective current saturation satisfying $\chi_L + \chi_C = 1$.

2.1. State equations

Thermodynamic equilibrium between the liquid pore water (L) and the adjacent crystal ice (C) requires the equality of the chemical potential of both phases

$$d\mu_L = d\mu_C, \text{ with } d\mu_L = \frac{dp_J}{\rho_J} - s_J d \quad (J=L,C), \quad (2)$$

where p_J , ρ_J and s_J are the pressure, the specific mass density and the entropy per unit mass of phase J , respectively. Integrating the above equation between the reference state ($p = 0$ Pa, $T = T_f = 273$ K) and the current state provides the liquid-crystal equilibrium condition

$$p_c - p_L = S_f(T_f - T), \quad \text{with} \quad S_f = \frac{\rho_c L_f}{T_f}, \quad (3)$$

where T_f , S_f and L_f are the bulk freezing temperature, the freezing entropy and the latent heat of freezing, respectively.

Combining the Young-Laplace law [15] and the Gibbs-Thomson law, and adopting, in analogy to the liquid-gas interface for unsaturated soils the van Genuchten capillary curve, a relationship between the liquid saturation in freezing soils and temperature can be obtained (see [47] for details):

$$\chi_L = \left(1 + \left(\frac{T_f - T}{\Delta T_{ch}} \right)^{\frac{1}{1-m}} \right)^{-m}, \quad (4)$$

where ΔT_{ch} and m are two parameters related to the pore size and pore size distribution of the porous structure in soils. With proper choice of these parameters, the characteristic liquid saturation curves of different types of soils can be reproduced.

2.2. Governing balance equation

With the above formulation of the constitutive relations, and restricting the model in the present context to thermal-hydraulic couplings (i.e. neglecting couplings with displacements), the problem of a freezing water-infiltrated porous material exposed to freezing temperatures is described by two governing sets of coupled balance equations, the mass balance of liquid water and crystal ice and the entropy balance equation.

The liquid water pressure p_L and the mixture temperature T are adopted as primary variables.

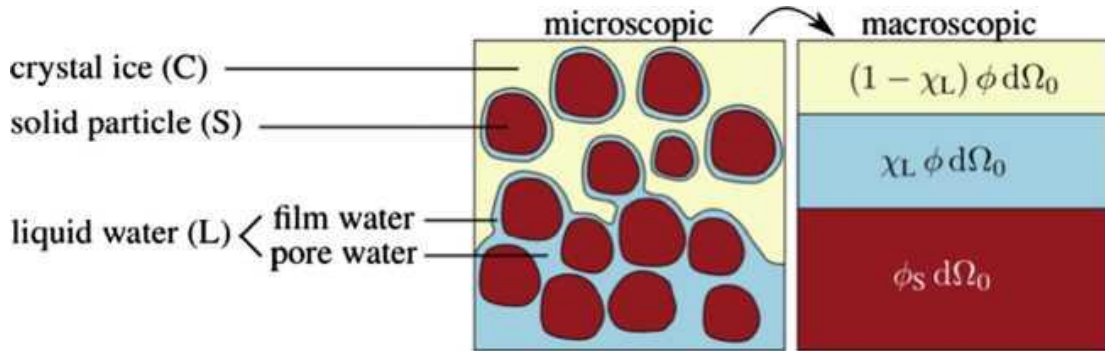


Fig. 1. Illustration of the three phases (liquid water, ice and solid) involved in freezing soil (left) and averaging principle on the macroscopic level (right) (from [47])

Assuming zero ice flow relative to the soil skeleton, the summation of the mass balances for the liquid water and the crystal ice leads to:

$$\frac{dm_L}{dt} + \frac{dm_c}{dt} + \nabla \cdot w_L = 0, \quad (5)$$

where $m_j = P_J \phi_J$ represents the current mass content related to phase J per unit volume, and w_L stands for the liquid water flow relative to the soil skeleton that can be expressed by means of Darcy's law as

$$w_L = \rho_{L0} v_L = \rho_{L0} \frac{K_0 K_{rel}[\chi_L]}{\eta_0 \eta_{rel}[T]} (-\nabla p_L + \rho_{L0} \mathbf{g}), \quad (6)$$

Herein, ρ_{L0} is the specific water density, v_L is the Darcy's velocity, K_0 is the intrinsic permeability, η_0 is the reference viscosity at $T = T_f$, while \mathbf{g} is the gravity force per unit volume. Besides, K_{rel} represents the saturation dependent relative permeability that can be expressed in a form proposed by Luckner et al. [34]:

$$K_{rel}[\chi_L] = \sqrt{\chi_L} \left(1 - \left(1 - \chi_L^{\frac{1}{m}} \right)^m \right)^2, \quad (7)$$

while the function η_{rel} accounts for the temperature dependence of the viscosity of supercooled water, which can be well captured by the empirical relation [18]:

$$\eta_{rel}[T] = 1.5963 \times \exp^{\frac{509.53}{123.15 - (T_f - T)}}, \quad (8)$$

Under the assumption of small temperature variation, the second law of thermodynamics provides the entropy balance for the mixture [3]:

$$T \left(\frac{dS}{dt} + \nabla \cdot (s_L w_L) \right) + \nabla \cdot q - \Phi_M = 0, \quad (9)$$

with $S = S_S + m_L s_L + m_C s_C$ as the overall density of entropy per unit of volume, while S_S is the entropy of the solid matrix and s_j the specific entropy related to phase J , q is the overall heat flow vector expressed by means of Fourier's law as

$$q = -\lambda_{tot} \nabla T, \quad (10)$$

with λ_{tot} as the overall thermal conductivity. Here Φ_M stands only for the mechanical dissipation associated with the viscous liquid flow through the porous volume, while the dissipation related to the solid skeleton is assumed to be zero in thermo-poro-elasticity.

Considering the solid particles and the ice phase as spherical inclusions embedded in a matrix of water, λ_{tot} can be estimated from homogenization using the Eshelby equivalent inclusion method [21]:

$$\lambda_{tot} = \lambda_L + \frac{\frac{\phi_S(\lambda_S - \lambda_L)}{1 + \left(\frac{\lambda_S - 1}{\lambda_L}\right)^{1/3}} + \frac{\phi_C(\lambda_C - \lambda_L)}{1 + \left(\frac{\lambda_C - 1}{\lambda_L}\right)^{1/3}}}{\phi_L + \frac{\phi_S}{1 + \left(\frac{\lambda_S - 1}{\lambda_L}\right)^{1/3}} + \frac{\phi_C}{1 + \left(\frac{\lambda_C - 1}{\lambda_L}\right)^{1/3}}}, \quad (11)$$

where λ_S , λ_L and λ_C are thermal conductivities of solid particles, liquid water and crystal ice, respectively.

2.3. Thermo-hydraulic finite element formulation

In the context of the finite element method, the balance Eqs. (5) and (9) are transformed to their variational forms in order to set up the thermal-hydraulic problem as an initial boundary value problem. For the spatial discretization, linear shape functions are used for the approximations of the liquid pressure and the temperature, while for the temporal discretization, a modified midpoint rule, denoted as the generalized- α method is adopted, which ensures unconditional stability and second order accuracy for an appropriate choice of its parameters [29]. The discretized weak form, evaluated at the generalized midpoint, results in a highly nonlinear system of equations that is solved iteratively by means of Newton's method:

$$\Delta d = \left((1 - \alpha_f)K^k + (1 - \alpha_f)\frac{\lambda}{\beta\Delta t}D^k \right)_{n+1-\alpha}^{-1} (R_{ext} + R_{int}^k)_{n+1-\alpha}, \quad (12)$$

With

$$\Delta d = \begin{bmatrix} \Delta p_L \\ \Delta T \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} K_{pp} & K_{pT} \\ K_{Tp} & K_{TT} \end{bmatrix}, \text{ and } D = \begin{bmatrix} 0 & D_{pT} \\ 0 & D_{TT} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$\alpha_f = \frac{1}{2}$, $\beta = \frac{1}{4}$, and $\gamma = \frac{1}{2}$ are time integration parameters used in the generalized- α method, R_{int} and R_{ext} denote the internal and external force vectors, Δd is the increment of the nodal vector of primary variables at iteration step k , while K and D are the Gateaux derivatives of R_{int} with respect to the DOFs and to their temporal derivatives, respectively. Eventually, the three-phase freezing soil model is implemented into the object-oriented FE-code Kratos [7], see Zhou and Meschke [47] for more details.

2.4. Model validation

The performance of the coupled thermal-hydraulic freezing model is investigated by comparing the numerical results with the experimental

results of large-scale laboratory tests conducted by Sres [43] and Pimentel et al. [38] under seepage flow conditions. This laboratory model is characterized by a watertight and thermally insulated box ($H \times L \times W = 1.2 \times 1.3 \times 1.0 \text{ m}^3$) filled with sand at an initial temperature $T_i = 19.18 \text{ }^\circ\text{C}$. Three vertical freeze pipes (diameter: 0.041 m) are installed in a row as shown in Fig. 2. To simulate the seepage flow, the box has a water inlet and a outlet at the two opposite faces in the x-direction. Temperature sensors are placed along the two indicated measurement lines (ML1 and ML2) at the middle plane ($z = 0$). The material parameters involved in this validation test are listed in Table 1.

In this test, two scenarios of seepage flows ($v_L = 0$ and 1.4 m/d) are investigated. As soon as the hydraulic condition is stabilized the cooling phase starts. The temporal temperature measurements from the laboratory tests (see Fig. 3a) for the two scenarios, approximated $T_{pipe}[t] = T_\infty + 15 \left(\frac{t}{3600} - \frac{15}{T_\infty - T_i} \right)^{-1}$ are applied as thermal boundary conditions. In case of non-zero seepage flow, the inlet surface ($x = 0$) is assumed at constant temperature 18.5 °C due to the inflow of water.

In Fig. 3b, the results of the simulation of the two scenarios for the seepage flow are compared with the temperature measurements from the laboratory tests [43]. For $v_L = 0$ m/d, the evolutions of the temperature distribution along both measurement.

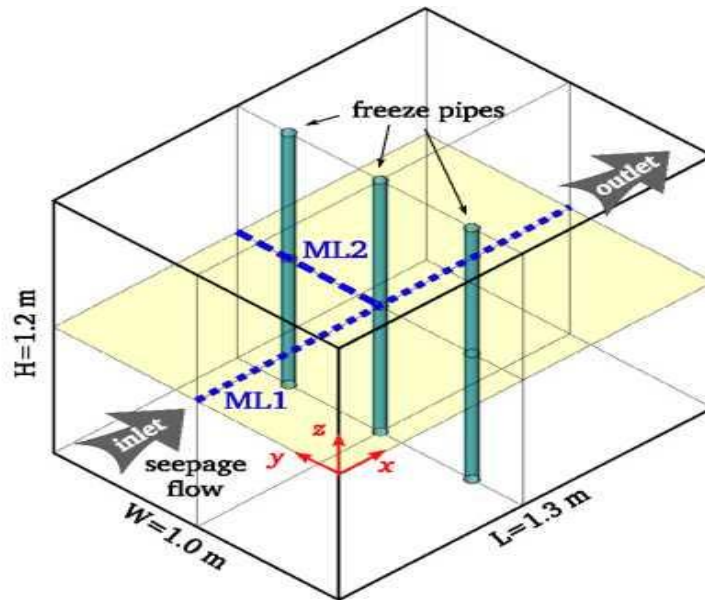


Fig. 2. Model validation: geometry and boundary conditions acc. to the laboratory tests [43].

Table 1

Model validation: material parameters.

Properties	Symbol	Value	Unit
Porosity	ϕ_0	0.36	-
Freezing entropy	S_f	1.2	MPa
Characteristic cooling	ΔT_{ch}	0.5	°C
Pore size distribution	m	0.7	-
Initial mass density	ρ_s	2664	kg/m ³
	ρ_L	998	kg/m ³
	ρ_c	917	kg/m ³
Heat capacity	C_s	826	J/kg K
	C_L	4190	J/kg K
	C_c	2110	J/kg K
Thermal conductivity	λ_s	4.9	W/m K
	λ_L	0.57	W/m K
	λ_c	2.2	W/m K

Intrinsic permeability	K_0	1.8×10^{11}	m^2
------------------------	-------	----------------------	--------------

lines ML1 and ML2 show very good agreement with the experimental data. A symmetric temperature distribution around the freeze pipe is reproduced along the line ML1. For $v_L = 1.4$ m/d, again, the numerical results replicates well the measured temperature profiles. Both numerical and experimental results reveal that the temperature evolution along the line ML1 is highly restricted at the upstream side as the water inflow supplies heat continuously, while at the downstream side the freezing process is accelerated, since, to some extent, the horizontal water flow helps the heat transfer from the freeze pipes to the downstream side and hence simulates the temperature evolution. Along the line ML2, the densely-distributed temperature profiles imply, that the closure of the frozen body is considerably delayed due to the seepage flow. However, in the case of $v_L = 1.4$ m/d at large time instants ($t = 20$ or 40 h) along ML2 and at the upstream side of ML1, the numerical results show a slight underestimation of the freezing propagation, which may be caused by the inaccurate boundary condition (i.e. watertight and thermally-insulated) assigned on the top surface in the simulation. In the laboratory test, the top surface of the sand is neither completely insulated nor truly water-tight, due to direct contact with a thin air-layer whose temperature varies during time inside the box (see details in [43]).

In Table 2 the total computational error of the results from the computational analysis w.r.t. to the experimental data is summarized for both scenarios for the seepage flow ($v_L = 0$ m/d and $v_L = 1.4$ m/d). The table contains the values of the error measure E_{tot} evaluated along the ML1 and ML2 at $t = 0$ h, $t = 1$ h, $t = 5$ h, $t = 20$ h and $t = 40$ h. The error measure E_{tot} is defined as

$$E_{tot} = \sqrt{\sum_p (T_p^{num} - T_p^{exp})^2 / \sum_p (T_p^{exp})^2} , \quad (14)$$

The index p represents the temperature measurement points as shown in Fig. 3, and T^{TM*} and T_p^{num} and T_p^{exp} are the temperatures obtained from the from numerical simulation and the experimental measurements, respectively.

3. Ant Colony Optimization

The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm is a probabilistic technique which aims to search the optimal path in a graph by mimicking the behavior of ants seeking a path between their colony and a source of food. The ants deposit pheromone trails on

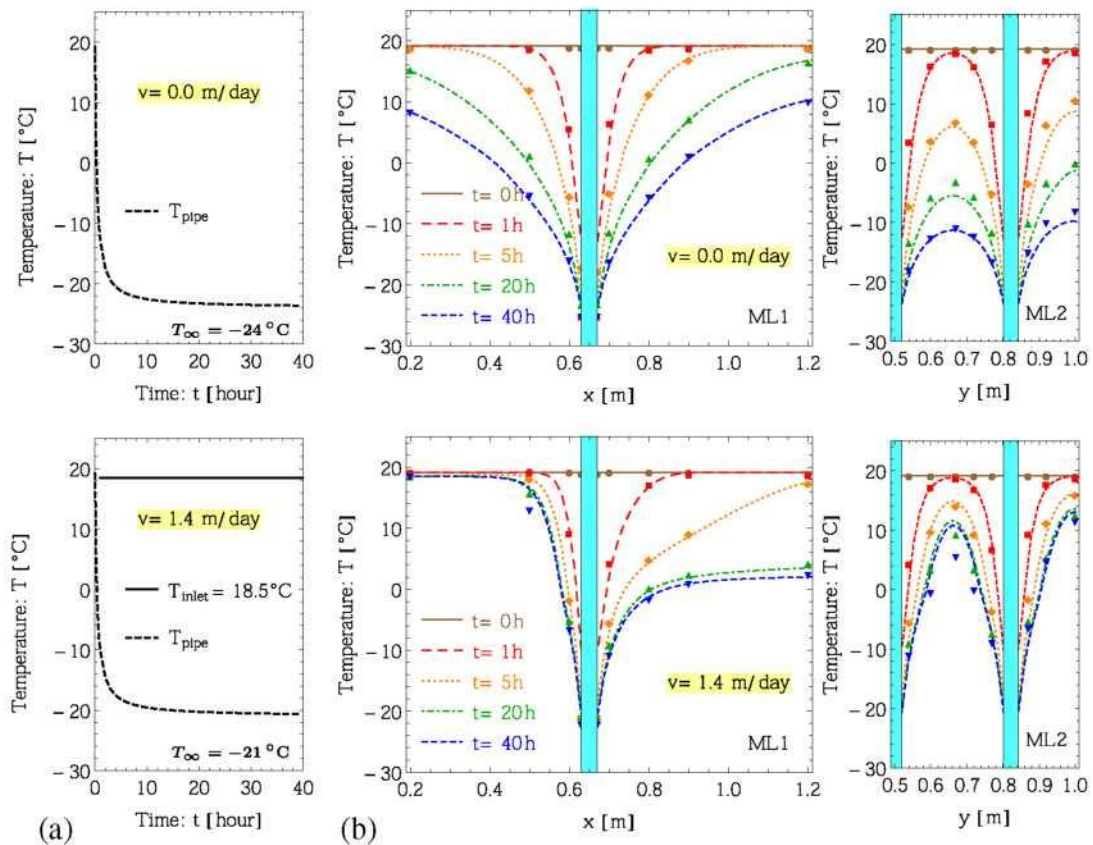


Fig. 3. Model validation: (a) thermal boundary conditions of freeze pipes and water inlet surface; (b) comparisons of the computed results (lines) with temperature measurements (points) acc. to Sres [43] along ML1 and ML2 for different seepage flows ($v_L = 0$ and 1.4 m/d).

Table 2

Model validation: error measure E_{tot} at different time instants for $v_L = 0$ m/d and $v_L = 1.4$ m/d. E_{tot} evaluates the difference between results from the numerical model and experimental measurements taken from Sres [43].

Time instant	0 h	1 h	5 h	20 h	40 h
For seepage flow	$v_L = 0$ m/d				
E_{tot} along ML1	0.70%	3.90%	6.76%	9.51%	2.61%
E_{tot} along ML2	0.54%	9.68%	35.46%	34.57%	9.65%
For seepage flow	$v_L = 1.4$ m/d				
E_{tot} along ML1	0.93%	4.72%	4.17%	6.38%	14.83%
E_{tot} along ML2	0.52%	3.93%	12.37%	21.45%	49.97%

the ground to mark food paths where these trails should be followed by other ants of the colony [17]. Several algorithms were proposed in the literature (see [9,13,12,44,42] for an overview).

The meta-heuristic search basically consists of an initialization step for the pheromone levels, and the iterative construction of solutions with the update of the pheromone values in order to represent the cumulative experience of the ant colony. The scheduled operations of selecting solutions, evaluation and pheromone update are performed repeatedly until a termination criterion is met. Typical termination criteria are the maximum number of iterations or a pre-set convergence rate.

The variables involved in the optimization problem are partitioned into a finite set of components, and the combinatorial optimization algorithm attempts to find their optimal combination or permutation. For a N-dimensional problem, the solution space can be represented as a graph (see Fig. 4), in which each node represents an individual partial solution.

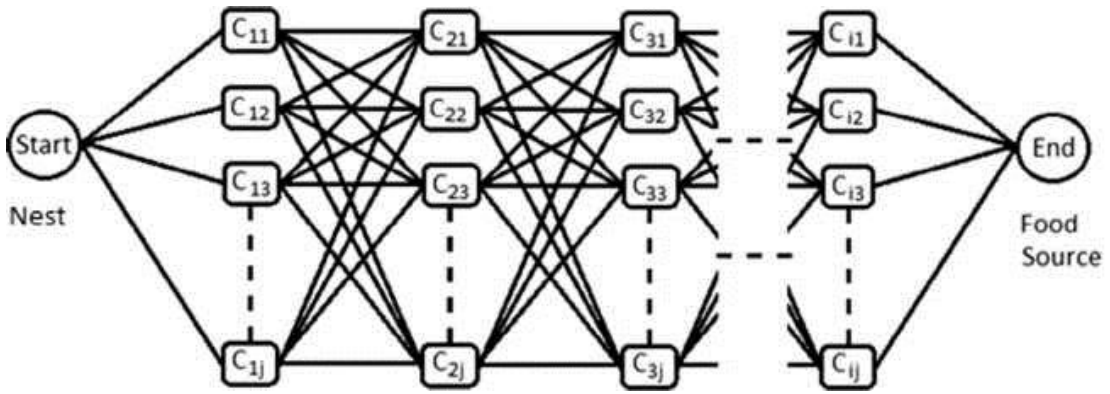


Fig. 4. Ant Colony Optimization: illustration of discrete solution space.

The user defines a number of artificial ants and each ant constructs its own solution from the available solution components C_{ij} (with $i = 1, \dots, N$ and $j = 1, \dots, \text{size}(D_i,)$), where X_i and D_i represent the variables and the set of discrete values attached to it. Each solution component has a corresponding pheromone value with is stored in a pheromone table. The algorithm is initiated by setting initial levels of pheromones to the pheromone table. The size of pheromone table is associated with the size of solution components. After setting the pheromone table, the algorithm starts the loop by constructing the solution.

ACO is an iterative algorithm, where the artificial ant is a simple computational agent. A walking ant on the graph, Fig. 4 simulates the solution selection process. At each iteration, each ant moves from a solution state to another solution state creating a partial solution until it constructs the complete solution. Constructing a solution is similar to searching for a food source, then the artificial ants return back to the nest, evaluate the results (food quality) and exchange information on the solution quality by means of the pheromone update. This selection process is achieved stochastically with a probability of:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{k=1}^{\text{size}(D_i)} \tau_{ik}}, \quad (15)$$

where τ_{ij} is the pheromone level of solution component C_{ij} . In the first iteration, the

probabilities for all solution components are equal. Subsequently, the artificial ants evaluate the solutions and a predefined number of overall best solutions are used for updating the pheromone levels.

3.1. *Pheromone update*

After evaluation of constructed solutions by the artificial ants, ants deposit pheromone along their paths on the graph. Pheromone update is the most important operation in the algorithm since pheromones are the communication tool between ants and adequate pheromone update leads to optimum solutions. The aim of pheromone update is to increase the pheromone levels for improved solutions and decrease it, if the solution is not improved. This can be achieved in two steps. First, all pheromone trails for all edges are uniformly decreased by a factor called pheromone evaporation. Pheromone evaporation is needed to avoid rapid convergence and enhance the possibility of selecting new areas in the search space. In the second step, the pheromone trails for good solutions are reinforced in order to increase the probability of subsequent ants to select promising regions of the search space. The added amount of pheromone depends on the quality of the solution.

The pheromone update follows an algorithm denoted as *Ant System*. Variants of the original *Ant System* algorithm proposed by Dorigo et al. [13], are the *Max-Min Ant System* and the *Ant Colony System* [10,44]. In the *Ant System*, the pheromone values are updated at the end of the iteration by all ants in that iteration. In the *Max-Min Ant System* only the “best ants”, representing the best solutions, will update the pheromone trails. The respective pheromone values are bounded. The definition of “best ants” is subjected to the designer decision; it can be considered as the best ant in the current iteration or the best ant since the start of the algorithm or a combination of both.

Ant colony algorithms were originally employed for discrete optimization. However, different attempts were developed to tackle continuous

domains [42]. In this paper, a new approach is used to calculate the additional pheromones in a manner that suits the continuous domain. The amount of added pheromone depends on the quality of the solution which can be evaluated using a fitness function or a scaled fitness function. Such an evaluation, however, often has the problem that the presence of extreme fit values will dominate the added levels of pheromones, which may lead to a premature convergence. Therefore, in the proposed ACO algorithm, the solution is evaluated using ranking of the objective function to overcome the premature convergence problem associated with raw fitness and scaled fitness. A predefined number of best ants are stored and sorted according to their rank. The ranking is assessed with natural numbers starting with rank one for the worst solution to the highest rank for the best solution. The incremental rank-based pheromone added to the corresponding discrete solution component reduces the algorithm efficiency and the ability to converge. To overcome this problem, it is proposed that each ant deposits the additional pheromone not only on the selected edge but also to the adjacent edges according to a normal distribution. The standard deviation (δ) is an input variable assigned by the user and the mean is taken as the position of the solution component C_{ij} selected by the best ants. The added amount of pheromones is updated by the predefined set of best ants according to

$$\Delta\tau_{ij}^{best} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{R_k-1}{N-1} \right) \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(j-men)^2}{2\sigma^2} \right), \quad (16)$$

where N is the total number of best ants, and R_k is the solution rank of the k th best ant. The pheromone update scheme in iteration $t + 1$ is defined as:

$$\tau_{ij}^{t+1} = (1 - \rho)\tau_{ij}^t + \rho\Delta\tau_{ij}^{best}, \quad (17)$$

The first part in Eq. (17) represents evaporation with an evaporation ratio ρ and the second part represents the additional amount of pheromone

deposited by the best ants. The standard deviation r defines the shape of the probability distribution. When σ is chosen small, pheromones are distributed within a narrow area and convergence is achieved rapidly. Larger values lead to a more uniform probability distribution, providing more diversity to the search space, which is connected with a slower convergence. The variance σ must be chosen larger than $1/\sqrt{2\pi}$. For $\sigma = 1/\sqrt{2\pi}$, each ant will update only a single solution component, which is considered as inappropriate for continuous domain.

4. Numerical simulation and optimization of artificial ground freezing in tunneling considering seepage flow

4.1. Model setup

The computational model for soil freezing described in the previous section is applied to the numerical simulation of AGF for the temporary ground support during tunneling. A case study of AGF performed by Ziegler et al. [48] is re-analyzed numerically by the proposed freezing soil model. To obtain an arch of frozen soil with high load bearing capacity and impermeability, brine freeze pipes with a fixed temperature of $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ and a diameter of 0.2 m are installed horizontally in a soil layer initially at an in situ ground temperature of $13.45\text{ }^{\circ}\text{C}$, which rests on an impervious base (depth: 10 m, width: 38 m) (see Fig. 5). The inner surfaces, where the freeze pipes are located, remain immobile and untrained. According to the geotechnical requirements, eventually a circular frozen arch with a thickness of $\approx 1.5\text{ m}$ is desired. The material parameters involved in the simulation are listed in Table 3. The parameters ΔT_{ch} and m are adopted according to the empirical unfrozen water content function given by Ziegler et al. [48].

Table 3

Material parameters involved in the numerical simulation of AGF.

Properties	Symbol	Value	Unit

Porosity	φ_0	0.41	-
Bulk freezing temperature	T_f	273	K
Freezing entropy	S_f	1.2	MPa
Characteristic cooling	ΔTch	1	°C
Pore size distribution	m	0.7	-
Initial mass density	P_s	2650	kg/m ³
	P_L	1000	kg/m ³
	P_C	917	kg/m ³
Heat capacity	c_s	900	J/(kg K)
	c_L	4180	J/(kg K)
	c_c	2100	J/(kg K)
Thermal conductivity	λ_S	1.8	W/(m K)
	λ_L	0.56	W/(m K)
	λ_C	2.24	W/(m K)
Intrinsic permeability	k_0	4.4×10^{-11}	m ²
	η_0	1.79×10^{-3}	Pa s

This simulation contains 29,260 linear tetrahedral finite elements and in total 7,064 nodes.

4.2. Influence of seepage flow on frozen arch formation

The influence of horizontal seepage flow on the formation of a frozen arch wall is investigated numerically by means of the proposed computational model. Horizontal seepage flow is simulated by applying a constant positive liquid pressure on the left boundary and zero pressure on the right boundary. According to the model geometry in Fig. 5 and the material parameters in Table 3 employed in this case study, a horizontal

seepage flow of 1.0 m/d is equivalent to assigning $p_L = 17.9028$ kPa is assigned on the left horizontal boundary.

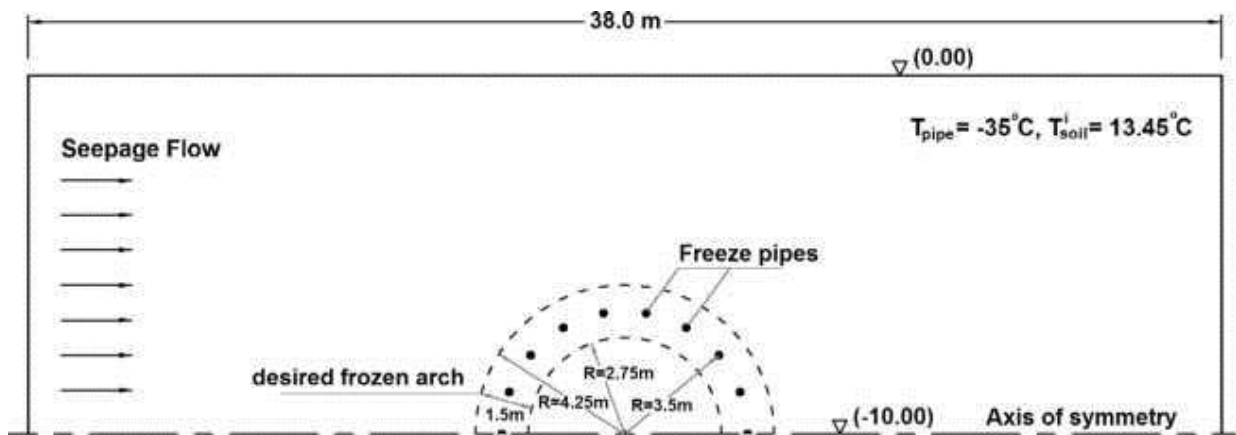


Fig. 5. Numerical simulation of AGF in tunneling: geometry and dimensions of the problem. Seepage flow is prescribed by applying an equivalent liquid pressure boundary condition p_L along the left vertical face and $p_L = 0$ kPa on the right vertical face. The lower base is assumed as impervious. The freezing temperature $T_{pipe} = -35$ °C is applied at the location of the freezing pipes; the initial temperature of the soil is $T_{soil} = -13.45$ °C.

Fig. 6 compares the spatial distribution of the temperature obtained from numerical simulations simulation for three different levels of the seepage flow ($v_L = 0, 0.5$ and 1.0 m/d) after 3, 6 and 9 days. Since groundwater flow provides a continuous source of heat, the freezing process is considerably affected and the formation of a closed frozen arch around the tunnel profile is delayed under a relatively high seepage flow. Initially, water flow is almost homogeneously passing through the entire cross section. As the frozen soil columns grow, the flow velocity increases considerably within the gaps between the freeze pipes, which inhibits the formation of a closed arch by delaying the connection between adjacent frozen pipes. Once the frozen arch is closed, there is no more water flow within the interior of the frozen arch and, consequently, the impact of seepage flow on the temperature evolution is significantly reduced. From then on, the frozen arch grows much faster towards the inwards direction

than outwards and the desired thickness of ~ 1.5 m is reached. It is worth to mention here that in the presented tests, the desired frozen arch is said to be achieved if the computed values of temperature at all nodes of the desired arch boundary are lower than -3°C . To generate an arch of frozen ground with a thickness of ~ 1.5 m required to support the excavated tunnel cross section, the required duration for three investigated scenarios for different seepage flows ($vL = 0, 0.5$ and 1.0 m/d are computed as 10, 21 and 53 days, respectively. According to the analysis, at higher seepage flow (e.g. 1.5 m/d), the desired frozen arch cannot be achieved even after long time (see also [41]). This is attributed to the fact, that a state of thermal equilibrium has been reached in this system and hence the soil stops freezing, see the temperature distribution in Fig. 7 after 3, 6, 9 and 16 days.

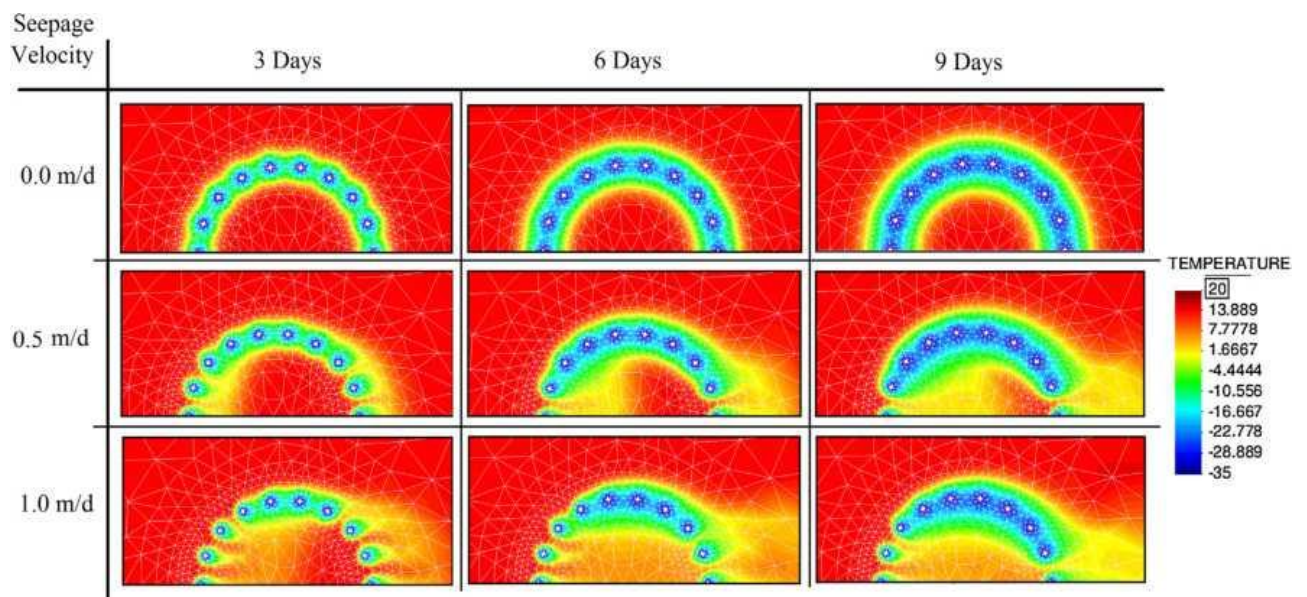


Fig. 6. Influence of seepage flow on the formation of a frozen arch for an equidistant distribution of freeze pipes.

1. Conclusions

A three-phase finite element model for freezing soils has been applied to the artificial ground freezing process during tunneling. In the model, the soil particles, the pore water and the pore ice are included as individual and

interacting phases, allowing to capture the most relevant couplings between the phase transition associated with latent heat effect, and the liquid transport within the pores. It has been shown, that the presence of ground water flow has a considerable influence on the formation of a closed and stable arch of frozen ground. The numerical model was integrated within an optimization algorithm using the Ant Colony Optimization (ACO) technique to optimize the freezing process by finding the optimal positions of the freeze pipes in the presence of seepage flow. Instead of explicitly optimizing the positions of all pipes, the placement of the freeze pipes is represented in terms of two parameterized distribution functions. Based on this parameterization, the proposed ant colony algorithm has been proven as very effective in obtaining an optimized arrangement of freeze pipes for different seepage velocities. Compared to alternative optimization methods, it has the advantage that pheromone trails represent the collective memory of the entire colony during successive iterations, i.e. the complete history is stored, which continuously improves future search.

The presented numerical application of the multiphase model together with the ACO method to a soil freezing operation for a tunnel has shown the efficiency of the proposed numerical method in reducing significantly the freezing time and hence the energy consumption as compared to an equal spacing of freeze pipes. As demonstrated in the simulation example, in the presence of groundwater flow of 1.0 m/d, the time required to form a closed frozen arch with a required thickness of 1.5 m could be reduced from more than 50 days to only 10 days by an optimized arrangement of the freeze pipes. It was further demonstrated, that even for above-critical seepage flow, above which a thermal equilibrium state has been reached and hence the required frozen arch cannot be achieved with an equally spaced pipe arrangement, a stable closed arch can be formed by optimizing the location of the freeze pipes. It has also been shown, that in cases of small seepage velocities (i.e. $v_L \leq 0.5$ m/d), the optimized pipe arrangement

will lead to an even shorter freezing time than required for an equally spaced arrangement without any seepage flow. In other words, with optimized pipe arrangement, seepage flow with small velocity can even play a positive role in promoting the heat conduction process during freezing whereas in the presence of larger magnitudes of seepage flow, the opposite is the case.

Based upon these results, it is concluded that the proposed combination of a multiphase finite element model and an efficient evolutionary optimization method such as the ACO method allows to substantially reduce energy consumption for ground freezing operations in geotechnical engineering.

