

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_/А. Н. Сокольников

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием  
грунта

Руководитель

доцент, канд. техн. наук О.Н. Петров

Выпускник

А.Е. Шиколов

Красноярск 2021

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме: «Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта»

Консультанты по  
разделам:

Экономическая часть

И. В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности

Е. В. Мусяченко

Нормоконтролер

О. Н. Петров

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта» содержит 98 страниц текстового документа, 71 использованный источник, 15 рисунков, 13 таблиц, 6 листов графического материала.

**МАГИСТРАЛЬНЫЙ ТРУБОПРОВОД, МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЙ ГРУНТ, МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ, ПОВРЕЖДЕНИЕ ПУЧЕНИЕМ.**

Объект исследования выпускной квалификационной работы: магистральный трубопровод.

Цель ВКР: подобрать технически и экономически обоснованный и эффективный способ предупреждения повреждений магистральных трубопроводов от морозного пучения.

Задачи ВКР:

- изучить геолого-климатическую характеристику района исследования;
- выявить причины морозного пучения и определить виды повреждений трубопроводов, вызванных этим явлением;
- рассмотреть методы, применяемые для борьбы с морозным пучением;
- сформулировать техническое предложение, технически и экономически обосновать его.

В ходе работы были выявлены основные причины морозного пучения, характерные повреждения трубопроводов, выполнен сравнительный анализ методов борьбы с морозным пучением. В результате анализа сформулировано техническое предложение по защите трубопроводов от повреждений пучением, выполнен расчет основных параметров защиты и выполнено экономическое сравнение.

## СОДЕРЖАНИЕ

Реферат .....	3
Содержание .....	4
Введение .....	7
Основная часть .....	9
1 Магистральный трубопровод – как объект исследования .....	9
1.1 Общие сведения о районе прокладки .....	9
1.2 Геокриологические условия .....	10
1.3 Климатическая характеристика .....	12
2 Выпучивание грунта. Причины и действие на трубопровод .....	13
2.1 Характеристика многолетнемерзлых грунтов .....	13
2.2 Принципы использования многолетнемерзлых грунтов.....	15
2.3 Причины и действие на трубопровод.....	16
2.4 Причины развития морозного пучения в регионе исследования .....	19
3 Повреждения магистральных трубопроводов .....	22
3.1 Аварийность на трассах магистральных газопроводов.....	22
3.2 Повреждения магистральных трубопроводов .....	23
3.3 Повреждение трубопроводов стресс-коррозией.....	27
4 Анализ методов защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта.....	30
4.1 Физико-химический метод .....	31
4.2 Гидромелиоративный метод .....	32
4.3 Обогрев грунта вокруг трубопровода .....	34
4.4 Применение теплоизоляции.....	35
4.5 Обустройство грунтовой конструкции .....	35
4.6 Надземная и наземная прокладка трубопровода .....	36
5 Техническое предложение .....	38
5.1 Надземная прокладка трубопровода .....	38
5.2 Подземная прокладка с инженерной защитой.....	39

6	Сооружение подземного и надземного трубопроводов .....	42
6.1	Подготовительные работы .....	42
6.2	Сварочные, изоляционные и теплоизоляционные работы .....	42
6.3	Подземная прокладка .....	44
6.3.1	Земляные работы .....	44
6.4	Надземная прокладка .....	47
6.4.1	Установка свай.....	47
6.4.2	Термостабилизация грунтов .....	50
6.4.3	Опоры надземных трубопроводов.....	51
6.4.4	Применение компенсаторов.....	52
7	Расчетная часть.....	54
7.1	Расчет толщины стенки трубы.....	54
7.1.1	Определение расстояния между опорами трубопровода .....	56
7.2	Расчет толщины теплоизоляции надземного трубопровода .....	58
7.3	Определение геометрических параметров траншеи подземного трубопровода с учетом грунтовой конструкции и определение объема заменяемого грунта .....	59
8	Безопасность жизнедеятельности и экология.....	62
8.1	Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ.....	62
8.2	Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ .....	64
8.3	Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования.....	65
8.4	Обеспечение безопасности технологического процесса.....	67
8.5	Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности.....	68
8.6	Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях .....	69
8.7	Экологичность проекта .....	71
9	Экономическая часть .....	72
9.1	Расчет стоимости строительства участка газопровода .....	72

9.1.1 Расчет сметной стоимости строительства участка подземного газопровода на многолетнемерзлых грунтах с осуществлением мероприятий по инженерной защите .....	77
9.1.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат на обслуживание подземного газопровода .....	80
9.1.3 Расчет сметной стоимости строительства участка надземного газопровода на многолетнемерзлых грунтах с проведением мероприятий инженерной защиты .....	81
9.1.4 Расчет годовых эксплуатационных затрат на обслуживание надземного газопровода .....	84
9.2 Сравнение экономических показателей двух типов прокладки трубопровода .....	85
Заключение .....	87
Список сокращений .....	89
Список использованных источников .....	90

## ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост потребления углеводородов в мире, ввод программ интенсивной газификации территорий России, прямо указывает на необходимость дальнейшего развития нефтяной и газовой промышленности России, разработки залежей углеводородов и их транспортировку с помощью трубопроводов.

В настоящее время существенным осложнением стабильной и бесперебойной работы магистрального трубопроводного транспорта является морозное пучение грунтов. Западносибирская нефтегазоносная провинция, обеспечивающая поставки до 75 % газового конденсата и 85 % природного газа в трубопроводную систему России, характеризуется сложными гидро- и геокриологическими условиями эксплуатации, в районах Крайнего Севера, в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов, быстро развивающиеся процессы морозного пучения вызывают отклонения магистральных газо- и конденсатопроводов от проектных положений. Несмотря на соблюдение принципов строительства на многолетнемерзлых грунтах, а именно первого принципа, проектирования трубопроводов с отрицательной температурой перекачиваемого продукта, природные климатические процессы последних лет развивают тенденцию растепления мерзлых грунтов и увеличения талых зон, глубины сезонного промерзания. Сезонно-талые грунты создают возможность развития процессов пучения при их смерзании, в результате движения потоков жидкости к фронтам промерзания, что приводит к воздействию на тело трубопровода и разрушению его стенок, являясь причиной большинства аварийных случаев [1].

Цель ВКР: подобрать технически и экономически обоснованный и эффективный способ предупреждения повреждений магистральных трубопроводов от морозного пучения.

Задачи ВКР:

- изучить геолого-климатическую характеристику района исследования;

– выявить причины морозного пучения и определить виды повреждений трубопроводов, вызванных этим явлением;

– рассмотреть методы, применяемые для борьбы с морозным пучением;

– сформулировать техническое предложение, технически и экономически обосновать его.

Объект исследования выпускной квалификационной работы:  
магистральный трубопровод.



# ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

## 1 Магистральный трубопровод – как объект исследования

Объектом исследования будет являться магистральный газопровод, проектируемый на северных территориях Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция показана на рисунке 1.

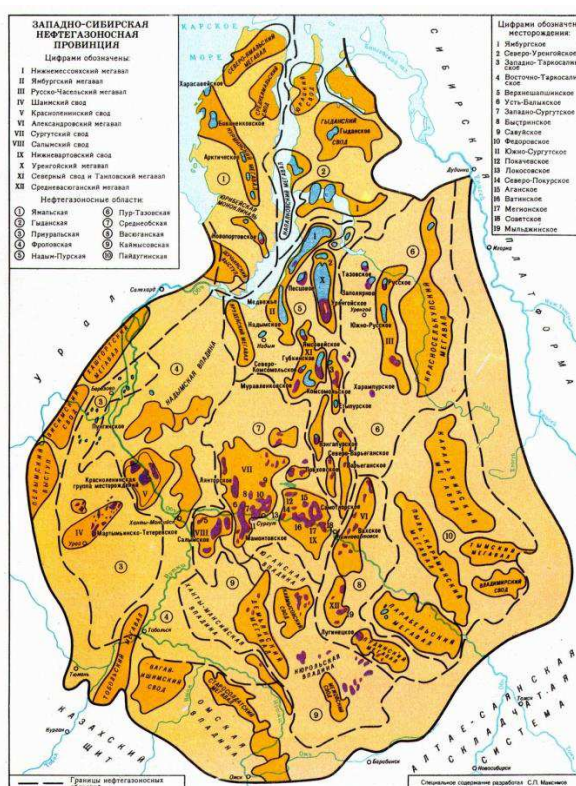


Рисунок 1 – Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция на карте [2]

### 1.1 Общие сведения о районе прокладки

Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, площадью 2,2 млн. км<sup>2</sup> расположена на территории Западно-Сибирской равнины, в границах Тюменской, Томской, Омской и Новосибирской областей. При начавшихся поисках залежей углеводородов в 1948 году, первое месторождение газа было

открыто в 1953 году, нефти в 1960 году. Наиболее значительные газовые и газоконденсатные месторождения: Бованенковское, Уренгойское, Заполярное, Медвежье, Харасавейское, Ямбургское. Наиболее перспективные месторождения северной части провинции: Солетско-Ханавейское, Малыгинское, Штурмовое (газоконденсатные), Верхнетиутеское, Западно-Сеяхинское нефтегазоконденсатные месторождения, Тамбейская группа). Половина перспективных залежей углеводородов находится в северной части, за полярным кругом [2].

## 1.2 Геокриологические условия

Рассматриваемые северные территории Западно-Сибирской равнины характеризуются областями со сплошным и прерывистым и островным расположением многолетнемерзлых грунтов (далее – ММГ). Южная граница распространения многолетнемерзлых грунтов лежит на  $60^{\circ}\dots 63^{\circ}$  с.ш., опускаясь до  $60^{\circ}$  с.ш. в восточной части. Согласно наблюдениям с 70-х годов XX века, из-за глобальных изменений климата, антропогенного воздействия, наблюдается устойчивое повышение температуры многолетнемерзлых пород в подавляющем числе точек изучения грунтов Западной Сибири, изменения составляют порядка  $0,5\dots 2$  °С. Данные изменения приводят к углублению существующих талых зон и образованию новых несквозных таликов. Прирост толщины сезонно-талых зон составляет ежегодно до 2 см. Толщина слоя ММГ увеличивается с возрастанием абсолютных высот и уменьшается в долинах, мощность слоя мерзлых пород нарастает к северу, средние изменения варьируются от 400...1100 м. В зависимости от широты и особенностей местности, температуры многолетнемерзлых пород в основном повышаются с севера на юг, в слоях нулевых годовых колебаний температур на глубинах от 5 до 20 м, данные значения составляют от  $-7\dots -10$  °С до 0 °С. При переходах от лесных зон к тундре температура ММГ понижается, изменяясь до 2 °С. На рисунке 2 показаны районы распространения ММП, тип их распространения и

глубины сезонных оттаиваний и промерзаний грунта. Толщины слоев сезонных оттаиваний увеличивается с севера на юг, изменяясь также в зависимости от состава почвенного профиля, высот местности, рельефа, толщин снежных покровов, вида растительного покрова, температур воздуха, водонасыщенности и теплопроводности грунтов. На севере Западной Сибири глубины протаивания ограничиваются глубиной 2 м, центральной и южной части протаивание составляет 0,5 м до 1 м, промерзание до 2 м, в южной части протаивание более 2 м. Вдоль рек ММГ протаивают на глубины менее 1 м, промерзают на 2...2,5 метра [3]. Общей характеристикой грунтов Западной Сибири являются высокий уровнем грунтовых вод, заторфованность, глубокое, усиливающееся с повышением среднегодовых температур атмосферы, сезонное промерзание и оттаивание грунтов, провоцирующее паводки и подтопления территорий. Грунтам данных территорий свойственны такие разрушительные процессы, как эрозия почв поверхностными водами, суффозия в виде проседаний толщи почвы из-за выноса частиц породы подземными водами, термокарст – вытаивание подземных льдов с образованием просадок грунта, дефляция – выветривание частиц породы и морозное пучение [1].

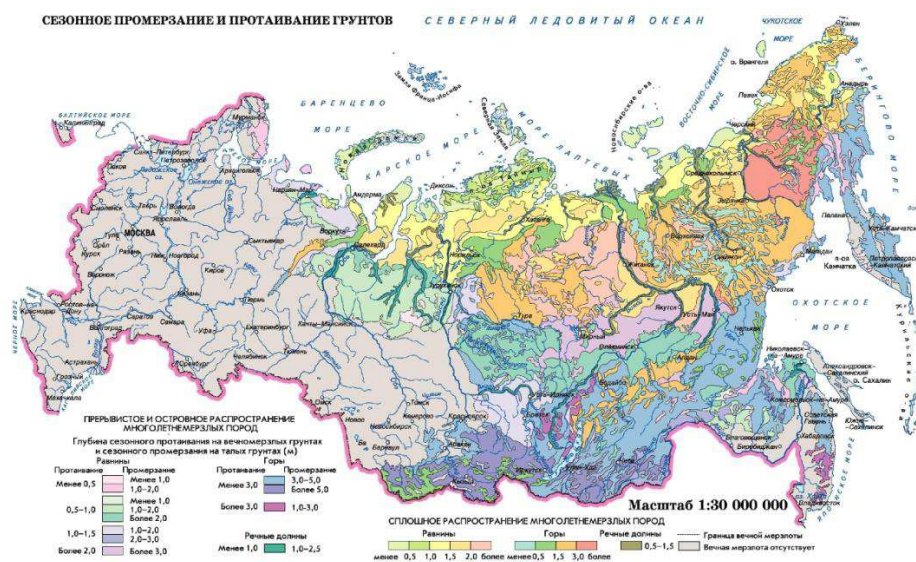


Рисунок 2 – Карта зон прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов на территории России [4]

### 1.3 Климатическая характеристика

Климатическими зонами территории объекта исследования являются умеренная, субарктическая и арктическая. Важными особенностями являются близость Северного Ледовитого океана, обилие водных объектов на территории, заливов, рек, озер, болот. Для севера Западной Сибири характерны длительная зима со среднемесячными температурами  $-23\dots-29$  °С, минимальные опускаются до значения  $-60$  °С. Годовые объемы осадков варьируются от  $300\dots350$  мм/год на арктическом побережье до  $500\dots550$  мм/год ближе к югу территории исследования. Снежные покровы не предохраняют почву от промерзания, на наветренных склонах Среднесибирского плоскогорья достигают 80 см, на северо-востоке 40 см. В не зимний период 4...5 месяцев для местности характерна циклоническая деятельность, лето недолгое, около 50 дней, прохладное из-за северных ветров и пасмурной погоды, наибольшее количество осадков выпадает в июле. Средняя температура июля колеблется около  $10\dots14$  °С, максимально достигая значений около  $30$  °С. Среднегодовая температура воздуха колеблется от  $-5\dots-7$  °С до  $10$  °С [3].

## **2 Выпучивание грунта. Причины и действие на трубопровод**

Морозное (криогенное) пучение грунтов – это свойство грунтов при определенном сочетании гидротермических условий в пределах сезонного промерзания увеличиваться в объеме под действием сил кристаллизации льда при фазовых превращениях содержащейся в грунте воды и подтягиваемой дополнительно к кристаллам льда на фронте промерзания. Внешним проявлением этого свойства являются местные и, как правило, неравномерные поднятия поверхности промерзающего грунта, которые сменяются осадкой при оттаивании [5].

Далее рассмотрим характерные для области исследования многолетнемерзлые грунты и их классификацию, варианты развития промерзаний, принципы использования данных грунтов, для установления причин развития процессов морозного пучения.

### **2.1 Характеристика многолетнемерзлых грунтов**

Мерзлым грунт называют в тех случаях, когда он имеет температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже и содержит в своем составе лед.

По структуре в виде расположения льда в грунте, его форме, размерам, многолетнемерзлый грунт делят на грунт с массивной, слоистой и сетчатой структурой. В массивной лед располагается в виде пор, в слоистой лед чередуется с грунтом, образуя прослойки и линзы, в сетчатой лед располагается в профиле грунта в виде сетки.

По физическому состоянию и температуре грунты делятся на:

- высокотемпературные (пластичномерзлые);
- низкотемпературные (твердомерзлые).

Высокотемпературные содержат в больших количествах незамерзшую воду, данные грунты имеют температуру ниже нуля, однако недостаточную для замерзания грунта. Такие грунты вязкие и имеют свойство сжиматься под

нагрузками. Низкотемпературные являются полностью промерзшими и соединенными замерзшей водой, их грунтовая температура лежит ниже границы промерзания. По составам грунта температура замерзания составляет для песков пылеватых  $-0,3$  °С, супесей  $-0,6$  °С, суглинков  $-1$  °С, глин  $-1,5$  °С.

- По распространению многолетнемерзлые грунты делятся на территории:
- сплошного распространения мерзлоты;
  - прерывистого распространения мерзлоты;
  - островного распространения.

Сплошное распространение мерзлоты подразумевает повсеместное распространение мерзлоты в пространстве многолетнемерзлого грунта. Прерывистый тип указывает на обширное распространение многолетнемерзлого грунта, разделенного более или менее большими зонами талых грунтов – таликов. Островной тип указывает на острова или группы островов мерзлых грунтов вне обширной зоны распространения многолетнемерзлых пород.

Также ММГ делятся по времени существования мерзлоты, существуют кратковременно-мерзлые грунты, сезонно-мерзлые грунты, многолетнемерзлые (вечномерзлые грунты). Кратковременные находятся в мерзлом состоянии несколько суток, сезонно-мерзлые от нескольких месяцев до года, многолетнемерзлые от трех лет до многих тысяч лет.

Также районы многолетнемерзлых грунтов делятся на районы со сливающейся и не сливающейся мерзлотой. Не сливающаяся мерзлота означает, что верхний оттаявший слой грунта, при замерзании не соединится с вечномерзлым грунтом, оставляя прослойку талого грунта, при сливающейся слою вечной мерзлоты и промерзающего грунта при промерзании смыкаются [6].

Сезонное промерзание/протаивание также имеет свою классификацию.

По частоте проявления сезонное протаивание/промерзание может быть систематическим, проявляющимся ежегодно в течение длительного периода

наблюдений, и несистемным, проявляющимся не ежегодно. Несистемное может быть частым, со средним числом перерывов, с большими перерывами и редким.

Также данные процессы могут быть устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивым будет сезонное протаивание/промерзание, сменяющие друг друга в теплый и холодный период, не сменяющиеся полным протаиванием/промерзанием профиля грунта. Неустойчивым будет сезонное протаивание/промерзание, сменяющиеся друг с другом полным протаиванием/промерзанием профиля грунта.

Протаивание и промерзание делятся по направленности относительно дневной поверхности: прямое, направленное от дневной поверхности вглубь грунтов и возвратное от поверхности грунтов, подстилающих сезонно-талый и сезонно-мерзлый слой. Также возможно их одновременное развитие.

При одновременном развитии процессов промерзания и протаивания они могут быть синхронными и несинхронными. Несинхронные делятся на предупреждающие, если раньше начинается протаивание/промерзание от дневной поверхности и возвратно-упреждающее, если раньше начинается возвратное, не от дневной поверхности, промерзание или протаивание [7].

## **2.2 Принципы использования многолетнемерзлых грунтов**

Для строительства на многолетнемерзлых грунтах применяются следующие принципы строительства:

- первый (I) принцип;
- второй (II) принцип.

Первый принцип использования сохраняет грунты основания в мерзлом состоянии, как во время строительства, так и в течение эксплуатации сооружения. Данный принцип применяется при возможности сохранить грунт в мерзлом состоянии, при экономическом обосновании обеспечения данного состояния. Низкотемпературные (твердомерзлые) грунты, сейсмоактивные районы строительства предполагают строительство и эксплуатацию

сооружения по этому принципу. Для сохранения низкой температуры грунта и его мерзлого состояния, а также для достижения мерзлого состояния высокотемпературных (пластичномерзлых грунтов), обуславливающих надежность основания для строительства, могут применяться специальные мероприятия по снижению температуры грунта.

Второй принцип говорит об использовании многолетнемерзлых грунтов основания в талом или оттаявшем состоянии, с оттаиванием на необходимую глубину до начала строительства или допущением оттаивания в течение эксплуатации. Данный принцип применим при распространенности скальных пород, грунтов большой твердости, малодеформируемых в условиях несплошности многолетнемерзлого грунта, также применим в случае недостаточного обеспечения надежности строительства по первому принципу.

Строительство линейных сооружений допускается с применением различных принципов на отдельных участках, при этом необходимо учитывать неравномерные деформации при переходах между участками [8].

### **2.3 Причины и действие на трубопровод**

Основной причиной выпучивания грунта является сезонное и многолетнее промерзание влажных и водонасыщенных дисперсных пород. В грунтах происходят такие процессы, как образование ледяных шпиров, линзовидных и пластовых залежей льда, различные криотурбации – нарушения в залеганиях грунта, их деформации, смятия, перемешивание, внедрение слоев один в другой [9].

Вследствие пучения на мерзлых грунтах могут образоваться мерзлотные формы рельефа округлой формы, образующиеся при промерзании сильно увлажненных толщ горных пород и увеличении их объема вследствие локального накопления льда, называемые буграми пучения. При проектировании трассы трубопровода бугры пучения необходимо выявлять и прокладывать трубу в зонах отсутствия бугров пучения.



Применимо к трубопроводному транспорту, пучение грунтов возможно по следующим причинам и их комбинации:

- морозное пучение грунта вследствие воздействия отрицательных температур окружающей среды, воздуха или мерзлых грунтов, на содержащуюся в грунте влагу;

- применимо к построенным по I принципу строительства на вечномёрзлых грунтах «холодным» трубопроводам, вследствие теплового влияния перекачиваемого при отрицательной температуре продукта на окружающие грунты.

При надземной прокладке криогенное пучение воздействует на свайное основание трубопровода в результате действия окружающей температуры грунта, на сваю действуют в основном касательные силы пучения, в результате смерзания грунта со сваей.

Наиболее опасной характеристикой пучения для сооружений является его неравномерность, увеличивающая деформации на концах переходов разных по степени пучения грунтов, данные участки распространены из-за особенности линейных сооружений в виде их протяженности. Неравномерность обуславливается такими теплофизическими свойствами мерзлого грунта, как теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность.

Устанавливающийся тепловой поток между трубой и грунтом размораживает/замораживает грунт вокруг трубы, из-за неоднородности грунта, его различий по теплофизическим параметрам, миграционные потоки различаются по мощности и по скорости миграции даже в условиях одинаковых температур. Неравномерность характера пучения трубопроводов может быть обусловлена следующими переходами грунтов:

- граница «непучинистый грунт – пучинистый грунт»;
- граница «слабопучинистый грунт – сильнопучинистый грунт»;
- неоднородность структуры грунта, влияющая на криогенное пучение в пределах залегания одного вида грунта (например, ледяная линза), как частный вариант [10].

На рисунке 3 показана схема взаимодействия трубопровода с промерзающими грунтами на границе раздела грунтов по степени пучинистости.

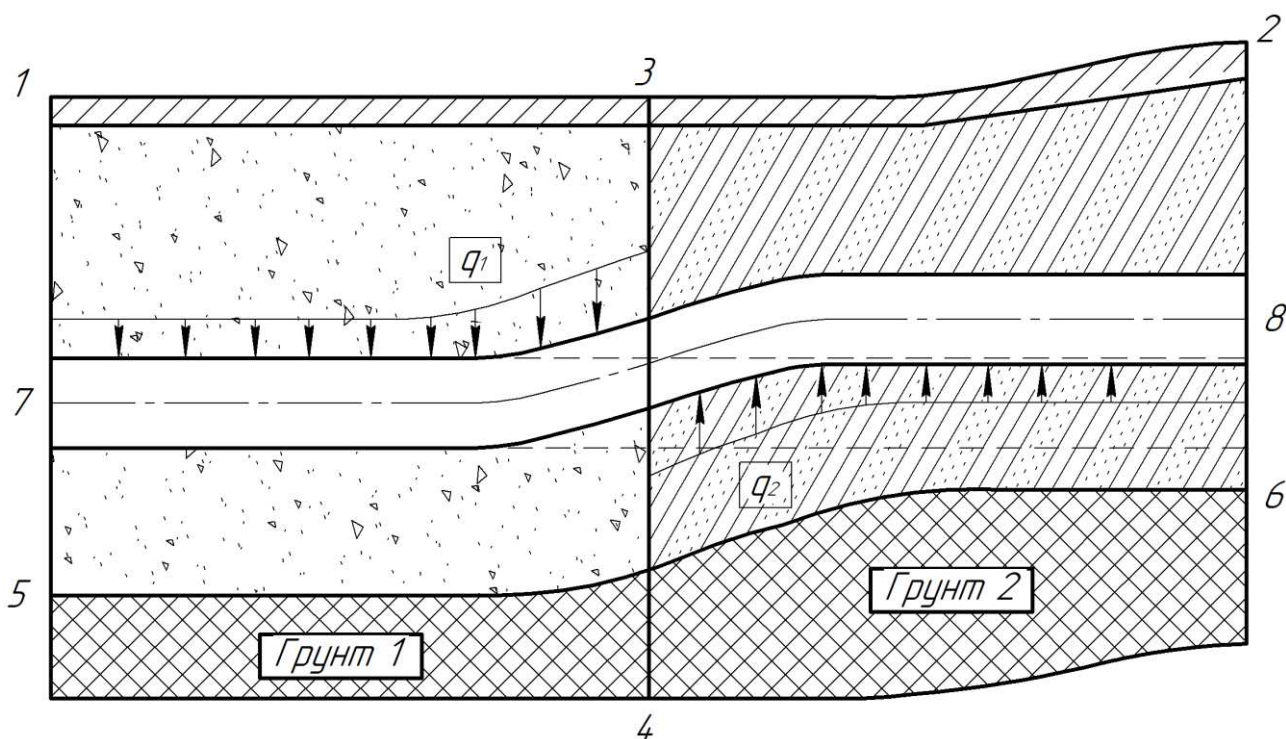


Рисунок 3 – Схема взаимодействия трубопровода с промерзающим грунтом на границе раздела грунтов: грунт 1 – непучинистый талый грунт; грунт 2 – пучинистый талый грунт; 1-2 – поверхность земли; 1-5-6-2 – грунты в мерзлом состоянии; 3-4 – условная граница раздела грунтов; 5-6 – нижний фронт промерзания; 7-8 – изогнутая ось трубопровода;  $q_1$  – погонная нагрузка сил отпора грунта;  $q_2$  – погонная нагрузка нормальных сил пучения грунта [10]

С увеличением толщины промерзшего грунта силы пучения будут увеличиваться, увеличивая и силы отпора грунта, достигая своих максимальных значений, и может произойти ситуация, при которой динамические связи пучинистого мерзлого грунта и трубы превысят силы реакции грунта на смещение трубы вверх, нагрузку от веса трубы и продукта внутри нее и нагрузку от веса грунта над трубой, после чего начнется перемещение трубы и грунта вверх. При этом не действующие на область непучинистого грунта силы пучения не превысят силу отпора грунта и нагрузки

от сооружения, сохранив заземление трубы и создав максимум деформирующих трубу напряжений на границе их раздела. После происходит их уменьшение из-за оттаивания и возврат трубы в первоначальное положение.

Скорость промерзания и оттаивания также влияет на пучение грунта. При быстром промерзании может оказаться, что процесс миграции влаги к фронту промерзания хотя и возникнет, но не успеет развиться в полной мере. Поэтому пучение при быстром промерзании грунта обычно оказывается меньшим, чем при медленном промерзании, при котором время накопления мигрирующей влаги к фронту промерзания из нижележащих слоев больше.

Для случая подземных трубопроводов касательные силы морозного пучения действуют на относительно малой площади в зоне боковой образующей трубопровода, в то время как нормальные силы давят на всю его нижнюю поверхность. В случае прокладки трубопровода в районах глубокого сезонного промерзания грунтов интенсивность этих сил значительно выше. Величина касательных сил пучения  $0,1...0,2$  МПа, нормальные силы составляют от  $0,5...1$  МПа до на порядок больших значений. Действие нормальных сил морозного пучения на трубопровод имеет такие особенности:

- воздействие носит периодический характер вследствие сезонности процесса;
- дополнительные осевые напряжения проявляются только при неравномерном характере пучения грунтов по трассе трубопровода и при соответствующем изменении высотного положения трубопровода [10].

#### **2.4 Причины развития морозного пучения в регионе исследования**

Основной причиной практически во всех случаях развития пучения являлось стремительное растепление многолетнемерзлых грунтов из-за глобальной аномалии в виде потепления климата, вследствие чего происходит расширение зон сезонного оттаивания/промерзания и образования

дополнительной свободной воды, способной продвигаться к фронту промерзания.

На интенсивность морозного пучения влияют такие факторы, как дисперсность грунта, плотность грунтов, уровень грунтовых вод, минеральный состав частиц, скорость промерзания. К климатическим причинам относятся количество осадков в предзимний период, средняя зимняя температура.

Дисперсность грунта, его раздробленность на частицы от 0,05 до 0,005 мм (пылеватые фракции) диаметром является наиболее благоприятным для пучения вариантом. Данный размер частиц обеспечивает плёночный массоперенос воды к фронту промерзания. Увеличение раздробленности частиц на частицы размером 0,005...0,002 мм уменьшает удельный поток миграции воды и пучение; грунты с частицами крупнее 0,07...1 мм, при наличии высокой присущей данному минеральному составу фильтрации воды, не способны удерживать воду и подвергаться накопительному пучению.

Плотность скелета грунта, усредненная пористость обеспечивает оптимальную упаковку минеральных частиц грунта для плёночного переноса воды и морозного пучения, в теории возможна минимальная плотность относительно стандартного уплотнения, обеспечивающая возможность кристаллизации воды в порах грунта без увеличения его объема и пучения, состоящем из трех фаз (скелет, вода, воздух), также возможно увеличение плотности грунта относительно среднего значения, интенсивность пучения в данном случае будет понижаться с уменьшением возможности движения воды в жидкой фазе через грунт.

Грунтовые воды обеспечивают капиллярное поднятие воды и ее накопление у фронта промерзания, ниже границы уровня грунтовых вод пучение максимально, выше границы грунтовых вод миграция влаги возможна выше уровня грунтовых вод (далее – УГВ) на 3...3,5 м и интенсивность пучения тем ниже, чем больше расстояние от УГВ.

По составу грунты по степени пучинистости имеют следующую последовательность от большего к меньшему: глина, суглинки, супеси, пылеватые пески.

Климатической причиной увеличения интенсивности пучения может являться предзимнее увлажнение в виде атмосферных осадков в осенний период, большое количество осадков в данный период года выпадает в средней и северной части России. При скорости промерзания порядка 0,1...0,13 см/ч пучение максимально, а при скорости промерзания более 0,2 см/ч в большинстве случаев формируется массивная криогенная текстура. Скорость промерзания грунтов зависит от толщины снежного покрова, скорости подземных вод, температуры наиболее холодного периода.

Сопоставление климатических и инженерно-геологических условий севера Западной Сибири и основных факторов морозного пучения показывает, что на данной территории существуют все необходимые условия для развития морозного пучения грунтов (более 60 % площади являются пучинистыми):

- обводненность грунтов региона и дополнительное предзимнее увлажнение, которое обеспечивается высоким уровнем залегания подземных вод, атмосферными осадками, выпадающие в осенне-летний период;
- наличие пылевой фракции от 20 до 60 % по массе грунта;
- средняя пористость грунтов обеспечивает оптимальную упаковку минеральных частиц грунта для плёночного переноса воды и морозного пучения;
- низкие среднегодовые температуры способствуют глубокому сезонному промерзанию грунтов и пучению на больших глубинах [1, 11].

### **3 Повреждения магистральных трубопроводов**

#### **3.1 Аварийность на трассах магистральных газопроводов**

Протяженность ЛЧ магистральных газопроводов (в том числе конденсатопроводов и трубопроводов СПГ) России составляет 178 тысяч километров, основными образующими и способствующими развитию дефектов факторами являются механические и коррозионные повреждения, приводящие к таким наиболее вероятным сценариям на газопроводах, как разрыв труб на полное сечение и истечением газа в атмосферу под давлением вверх и вниз по потоку газопровода. Протяженность разрыва и вероятность возгорания газа определяются технологическими параметрами трубопровода (диаметр, рабочее давление, толщина стенки), характеристиками грунта залегания, такими как плотность, наличие включений. Для трубопроводов большого диаметра (1200...1400 мм) характерны протяженные разрывы (50...70 м и более) и высокая вероятность загорания газа (0,6...0,7), самопроизвольный взрыв маловероятен [12].

По статистике аварийность магистральных газопроводов и конденсатопроводов в период с 2005 по 2020 год, расположенных на северной территории Западной Сибири в зоне с прерывистыми водонасыщенными и льдистыми многолетнемерзлыми грунтами и отрицательной температурой продукта в 2 раза выше, чем в среднем по всем магистралям России: 0,39 аварий в год на 1000 км, при этом больше половины всех аварий связана с воздействием морозного пучения грунтов основания [7]. В районах распространения ММГ на севере Красноярского края приложены данные по интенсивности отказов газопровода «Соленинское – Мессояха – Норильск» диаметром 720 мм, проложенного наземным, надземным и подземным способом. Основными разрушительными силами также являлись силы морозного пучения, число отказов на 1 км трассы при прокладке подземным способом составило 3, надземным способом, при котором силы пучения

действуют на свайные опоры трубопровода, на суглинках и торфяниках интенсивность отказов составила 0,5...0,6, на песках 0,15 [13].

### **3.2 Повреждения магистральных трубопроводов**

Морозное пучение в зимнее время нарушает устойчивость балластировок, действуя на них касательными и нормальными силами пучения, смерзаясь с ними, смещаясь они наносят повреждения антикоррозионным покрытиям. Смещение балласта от первоначального положения приводит к невыполнению им своих функций, потере связи с телом трубы и всплытию участков трубопровода, их изгибу. Нормальные силы действуют на нижний периметр трубопровода, неравномерно смещая трубу по вертикали, что может привести к ее разгерметизации. Изменение напряженно-деформированного состояния провоцирует развитие стресс-коррозии, участки с поврежденным антикоррозионным покрытием в результате становятся очагами язвенной коррозии. Также силы пучения влияют на грунт, окружающий трубу, увеличением льдистости разрушая его структуру, увеличивают пористость, проницаемость грунта, приводят к ускорению процессов деградации грунта – суффозии, дефляции, эрозии во время весенних паводков и образованию во время летне-осенних половодий коррозионных макропар в грунтах с разрушенной структурой с оголенными трубами. В результате воздействию подвергаются трубопровод, балластирующие конструкции, грунты обвалования и основания.

Далее будут приведены случаи повреждения целостности трубопровода и его сооружений на трассах магистральных конденсато- и газопроводов.

На рисунке 4 представлено множественное смещение балластирующих конструкций газопровода диаметром 1020 мм, произошедшее за один холодный сезон, в результате морозного пучения грунта.



Рисунок 4 – Смещение утяжелителей трубопровода морозным пучением [1]

Из-за нарушения заложенной проектом устойчивости против всплытия образовалась арка без разгерметизации трубопровода, изменившая напряженно-деформированное состояние трубы. Данное явление распространено в данном регионе, протяженность повреждений такого характера составляет десятки километров. В данном случае повреждение произошло в результате растепления грунта в процессе строительства и его обратного смерзания, сопровождавшегося пучением, после окончания строительства.

В результате смещения балластирующих конструкций относительно трубопровода, в местах соприкосновения было нарушено антикоррозионное покрытие (рис. 5).

При возникновении достаточных для повреждения сил морозного пучения вертикальным смещением свай могут быть повреждены опоры надземного трубопровода (рис. 6), что также может привести к повреждению антикоррозионного покрытия и тепловой изоляции трубопровода и изменить напряженно-деформированное состояние трубы. Данное явление наиболее характерно на талых слабонесущих грунтах, где касательные силы морозного пучения превышают сцепление свай с нижним слоем грунта.





Рисунок 5 – Повреждение антикоррозионного покрытия газопровода [1]



Рисунок 6 – Повреждение надземной опоры газопровода диаметром 720 мм [1]

Далее будет описан случай действия нормальных сил пучения на тело трубы с отрицательной температурой перекачиваемого продукта (рис. 7). Авария произошла на одиннадцатом году эксплуатации трубопровода, вертикальное смещение трубы привело к ее разгерметизации по нижней части трубы. Толщина льда под трубой достигала 1 метра. Наибольшую роль в аварии сыграли нормальные силы пучения, увеличивающиеся в пропорции  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 1 МПа, что гораздо интенсивнее касательных и делает трубопроводы с отрицательной температурой продукта наиболее подверженными этим силам

из-за дополнительного воздействия продукта внутри трубопровода на промораживание грунтов. Промерзание воды в грунте вызвало локальное накопление льда, вызвавшее смещение трубопровода от проектной оси и его разгерметизацию. Талый грунт и приток воды к фронту промерзания явились следствием оттаивания ММГ за период времени от инженерных изысканий до ввода в эксплуатацию МК. Своевременное обнаружение развития таких явлений требует постоянного контроля планово-высотного положения из-за малого предела допустимых перемещений, порядка 10...20 см.



Рисунок 7 – Изменение проектного положения магистрального конденсатопровода диаметром 530 мм [1]

Увеличение льдистости грунта в результате подтягивания влаги к фронту промерзания разрушает структуру грунта, изменяя его первоначальные свойства, повышает его пористость и проницаемость. Воздействие пучения на нижнюю образующую трубопровода вызывает начальный выгиб трубопровода в виде арки. Из-за нарушенной связи трубопровода с балластом в результате действия морозного пучения, как следствие неспособности балластирующих устройств полноценно выполнять заложенные проектом функции, и повышенного притока воды к траншее во время весеннего паводка, при таянии

снега, из-за нарушенной структуры грунта, а также ускорения процессов суффозии, дефляции и эрозии из-за ее нарушения и снижения способности заземления трубы грунтом вследствие данных процессов, первоначальный изгиб от морозного пучения перерастает в арочный выброс (рис. 8) [14].



Рисунок 8 – Выпучивание подземного трубопровода (арочный выброс) [13]

### **3.3 Повреждение трубопроводов стресс-коррозией**

Участки трубы с поврежденным антикоррозионным покрытием становятся очагами язвенной коррозии с образованием гальванических микропар. Изменение напряженно-деформированного состояния вследствие смещений трубопровода, перерастающих в арочные выбросы смещений, способствует развитию стресс-коррозии. Разрушение изначальной структуры грунта в процессе морозного пучения и, как следствие, повышение кислородной проницаемости в осенне-летний период после половодья, провоцирует образование коррозионных макропар грунта с оголенным трубопроводом. Все это ведет к ускоренному износу трубопроводов, проложенных в сложных инженерно-геологических условиях, обуславливая

большой вклад грунтового фактора на эксплуатационную надежность магистральных трубопроводов [14].

Наиболее опасным видом коррозионного разрушения является коррозионное растрескивание под напряжением (самопроизвольное разрушение металла в результате одновременного воздействия агрессивной среды и механического напряжения). Дефекты из-за стресс-коррозии мало распространены на магистральных нефтепроводах, на магистральных газопроводах доля аварий по причине КРН достигает порядка 41,93 %. Причинами появления КРН на магистральных газопроводах являются большие диаметр и рабочее давление трубопровода, обуславливающие высокие механические напряжения в стенке, сопряженных с рядом факторов. Развитию стресс-коррозии способствует сочетание из трех групп факторов: первая группа определяет исходное качество металла и его чувствительность к растрескиванию (во всех очагах разрушений имеет место химическая и структурная неоднородность металла, повышенная загрязненность неметаллическими включениями, наблюдается образование метастабильных закалочных структур, участки с аномально высокой твердостью, перлитные колонии и обезуглероживание, зоны перегрева в сварных швах); вторая – характеризует соответствующий уровень и цикличность растягивающих напряжений; третья – отражает параметры окружающей среды, возможность доступа коррозионной среды и взаимодействие с поверхностью металла. Морозное пучение активно затрагивает два фактора, вторая группа затрагивается в результате объемных изменений грунта в процессе промерзания, образования ледяных прослоек, линз, смещающих грунт и проложенный в нем трубопровод, что приводит к неравномерным напряжениям как по оси, так и по периметру трубопровода, по причине цикличности процесса пучения грунта, его сезонности и сменяемости процессов замерзания/оттаивания, постоянные смещения приводят к малоцикловой усталости. Третий фактор затрагивается в результате процессов смерзания/оттаивания, которые приводят к смещению и повреждению

изоляции, а также доступу грунтового электролита к металлу из-за разрушенной структуры грунта и более быстрому развитию коррозии.

Отказы магистральных трубопроводов по причине коррозионного растрескивания под напряжением (далее – КРН) возникают на участках независимо от наличия электрохимической защиты (далее – ЭХЗ), пленочной, резинобитумной изоляции, что говорит о том, что антикоррозионная защита не является эффективной для защиты трубопроводов от повреждений коррозией при возникновении условий для коррозионного растрескивания под напряжением и необходимо работать с причинами, провоцирующими КРН.

КРН не имеет прямой зависимости с коррозионной агрессивностью грунтов и наблюдается на трубах как при сильной, так и при слабой активности среды околотрубного пространства.

Стресс-коррозия развивается с внешней поверхности трубопровода и представляет собой группы или колонии трещин вблизи очагов разрушений, ориентированных преимущественно вдоль оси трубы. КРН провоцируется локальной коррозией, трещины зарождаются со дна питтингов. Основная линия разрушения в большинстве случаев проходит на расстоянии 200...800 мм от продольного сварного шва [15].

#### **4 Анализ методов защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта**

Противопучинистые мероприятия для зданий и сооружений назначают, если устойчивость сооружения, рассчитанная на действие сил морозного пучения, не обеспечивается нагрузкой от сооружения, а деформации пучения или осадки при оттаивании превышают предельно допустимые значения деформаций.

При назначении противопучинных мероприятий против действия сил и деформаций морозного пучения грунтов на устойчивость и эксплуатационную пригодность зданий и сооружений следует исходить только из конкретных инженерно-геологических и гидро-геологических условий строительной площадки, вида и назначения проектируемых зданий и сооружений, способов производства строительных работ, условий эксплуатационного режима зданий и сооружений и наличия химических реагентов и материалов, потребных для применения их против сил и деформирования пучения [5].

Противопучинные мероприятия подразделяют на следующие виды:

- инженерно-мелиоративные (тепломелиорация и гидромелиорация, направленные на снижение величины деформаций пучением);
- конструктивные (по снижению или предотвращению повреждений зданий и сооружений под действием деформаций и сил морозного пучения);
- физико-химические (засоление, гидрофобизация грунтов, снижающие удельные силы пучения);
- комбинированные [16, 5].

К методам защиты подземных магистральных трубопроводов от морозного пучения относятся физико-химический (гидрофобизация, засоление, уплотнение грунтов), инженерно-мелиоративный (вдольтрассовое понижение уровня грунтовых вод), конструктивный метод (устройство грунтовой подушки вокруг трубопровода). Также возможны тепловые активные (тепломелиоративные) и пассивные методы: обогрев окружающего

трубопровод грунта греющим кабелем или теплоспутником, применение кольцевой теплоизоляции трубопровода для предотвращения теплообмена с окружающим грунтом, и комбинации данных методов [1].

Кроме подземной прокладки, возможны еще другие варианты прокладок, наземная прокладка в обваловании и надземная прокладка на свайных опорах, также с возможными сопутствующими инженерными решениями по защите трубопровода от внешних воздействий.

#### **4.1 Физико-химический метод**

Физико-химический метод включает в себя гидрофобизацию, засоление и уплотнение грунтов. Данные мероприятия предотвращают или существенно уменьшают деформации от морозного пучения, изменяя физико-химические свойства грунта. Основными используемыми вяжущими материалами для придания грунту водоотталкивающих свойств являются разные виды дегтя, такие как торфяной, жидкий каменноугольный, древесный, смолы, нефтяные битумы, которые при перемешивании с грунтом препятствуют миграции влаги к фронту промерзания. При засаливании используется принцип уменьшения температуры замерзания жидкости в грунте, содержащей повышенное количество солей, что уменьшает объемы льдообразования, снижая величину пучения [17].

Гидрофобизация и засоление также имеют недостатки в виде непродолжительного положительного эффекта 5...7 лет для гидрофобизации и 1...2 года для засоления, увеличения агрессивности среды грунта для конструкций в виде ускоренной коррозии, возможности увеличения негативных явлений пучения при неправильных концентрациях смесей, увеличения температуропроводности засоленных грунтов, нанесении вреда окружающей среде при вымывании добавок в районах с водонасыщенными грунтами.

Химическое воздействие на грунт в основании трубопроводов возможно в случаях необходимости защиты сооружения от сил пучения грунта. Данные

способы используются в строительстве зданий и сооружений, но конкретных методик и предложений по применимости данных методов в трубопроводном транспорте нет. Также отсутствует возможность закупки необходимых материалов и технологий для данного вида защиты, что также негативно влияет на применение гидрофобизации и засоления грунта на практике [1].

Уплотнение грунта выполняется с помощью трамбовок различного веса, при этом формируется новая структура грунта, которую отличает от первоначальной минимальная относительная однородная пористость, степень уплотнения, различающиеся с глубиной грунта, где данные изменения менее заметны. При этом выделяются такие процессы изменений, как разрушение существовавших структурных связей и при этом образование новых, и увеличение уплотненности, водонепроницаемости, что препятствует явлению морозного пучения [18]. Недостатком данного метода является продолжительное время изменения до необходимой структуры грунта на больших площадях и в водонасыщенных районах, что делает применение метода при поточном строительстве магистральных трубопроводов маловозможным [1].

## **4.2 Гидромелиоративный метод**

К инженерно-мелиоративным методам, возможным к применению вдоль трассы прокладки трубы, относится уменьшение уровня грунтовых вод, что, однако, не всегда возможно в условиях бессточного равнинного рельефа местности. Снижение уровня грунтовых вод напрямую влияет на морозную пучинистость грунтов за счет удаления объемно увеличивающейся составляющей грунта. Понижение грунтовых вод в трубопроводном транспорте осуществляется как с помощью открытого отбора воды, обустройства дренажей так и с помощью иглофильтров, схема с применением иглофильтров представлена на рисунке 9.



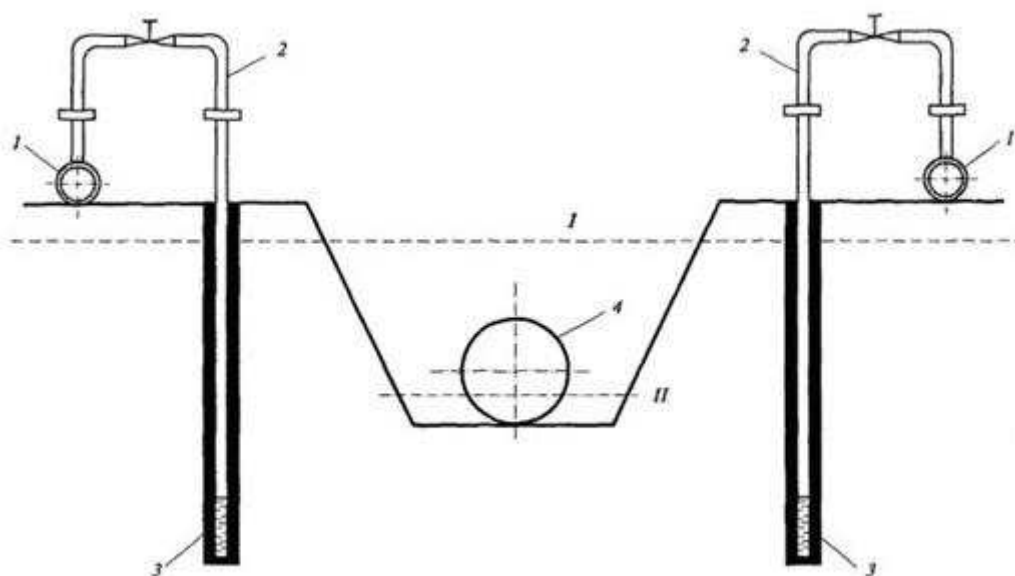


Рисунок 9 – Схема искусственного водопонижения при двух рядах иглофильтров: I – уровень грунтовых вод; II – уровень воды в траншее; 1 – водоотливной коллектор; 2 – надфильтровая труба; 3 – фильтр; 4 – нефтепродуктопровод [19]

Иглофильтровые системы функционируют по принципу создаваемого насосами вакуумметрического давления и состоят из следующих элементов:

- иглофильтров – эластичных полупрозрачных полиэтиленовых труб, опускаемых в грунт;
- водопонижающих поршневых насосов;
- сбрасывающие шланги или трубопроводы.

Водопонижение состоит из четырех этапов. Первым этапом является установка иглофильтров с помощью подмыва грунта, монтаж сборного коллектора, сборка системы. Вторым этапом происходит постоянная откачка грунтовых вод, обычно составляющая 1...3 дня, третьим этапом является поддержание пониженного зеркала воды, во время данного этапа происходят укладка трубопровода либо ремонтные работы. Четвертый этап – демонтаж иглофильтров и вытяжных коллекторов. Данный метод в основном является временным и используется во время строительства и капитального ремонта

сооружений, также данный метод не всегда применим в районах с водонасыщенными грунтами [19].

### **4.3 Обогрев грунта вокруг трубопровода**

При использовании магистральных трубопроводов для повышения температуры грунта и, как следствие, недопущения развития процессов криогенного пучения могут использоваться прямой подогрев грунта, трубопровод-теплоспутник или греющий кабель. Наиболее традиционным и рациональным является применение электрических греющих кабелей или скин-систем [20]. Они обладают малой материалоемкостью, их легче устанавливать, они не подвержены коррозии, не боятся разморозки, запитываются от общей системы электроснабжения предприятия, оснащаются автоматизированными системами управления, которые точно и по заданному алгоритму поддерживают выбранный режим, легко интегрируются с автоматизированными системами управления верхнего уровня и могут применяться на сложных и разветвленных сетях трубопроводов [21]. Такие системы требуют минимального обслуживания и позволяют воздействовать на грунт локально, так как на не требующих обогрева участках используется обычный кабель. Высокая гибкость кабеля обеспечивает его хорошую приспособляемость к деформациям трубопровода. Такая система подходит для повышения температуры грунта вокруг трубопровода на участках прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов [20].

Применение обогрева грунта в условиях прокладки трубопровода имеет серьезные недостатки. Обогрев с помощью трубопровода-теплоспутника сопровождается значительными потерями тепла на начальных участках прокладки, снижая эффективность метода на концевых участках. Также применение теплоспутников затруднительно из-за разных типов грунта по трассе прокладки, что может вызвать деградирующие изменения ММГ в зонах их сплошного распространения, просадочных зонах, из-за невозможности

полной теплоизоляции теплоносителя высокой температуры. Применение электрического кабеля требует развитой инфраструктуры электроснабжения на всем протяжении трассы прокладки и непосредственно источника энергии, электрообогрев наиболее применим на ограниченных площадочных объектах. Данные недостатки делают обогрев грунта вдоль трассы трубопровода непригодным к применению [1].

#### **4.4 Применение теплоизоляции**

К ограничивающему тепловое воздействие принципу инженерной защиты относится применение теплоизоляции. Кольцевая теплоизоляция поверхности трубопровода является одним из наиболее дешёвых и широко распространённых способов минимизации теплообмена трубопровода и его транспортируемого продукта с окружающей средой, и, как следствие, делает его применимой инженерной защитой от морозного пучения трубопроводов с отрицательной температурой продукта. Для уменьшения нормальной составляющей морозного пучения возможно применение теплоизоляционных матов на дне траншеи. Теплоизоляция способствует повышению температуры грунта, относительно величин без ее использования, и уменьшает размер области пучения.

#### **4.5 Обустройство грунтовой конструкции**

Грунтовая конструкция относится к конструктивно-механическому принципу ограничения воздействия морозного пучения. Она состоит из обсыпки толщиной 200 мм над верхней образующей трубы, подсыпки толщиной 200 мм под нижней образующей трубы и грунтовой подушки. Все элементы грунтовой конструкции выполняются из одного и того же крупно- или среднезернистого непучинистого строительного песка. Обсыпка исключает сцепление трубопровода с пучинистым грунтом по боковой поверхности, что

не дает смещать трубопровод и его конструкции касательным силам пучения. Подсыпка и подушка снижают величину вертикальных перемещений трубопровода за счет уменьшения размера области пучения и перераспределения усилий.

Рассмотрим также смежный метод защиты для уменьшения критических значений деформаций на границе пучинистого и непучинистого грунта в виде снижения защемляющих свойств непучинистого грунта, его заменой, в качестве примера замену крупнозернистого песка на суглинок. Данный метод при уменьшении модуля деформации в 4 раза снижает напряжения в трубопроводе лишь на 25%, при этом увеличивая риск всплытия трубопровода и аркообразования в период оттаивания грунта из-за увеличения его деформируемости, что делает метод непригодным к применению [1].

#### **4.6 Надземная и наземная прокладка трубопровода**

Надземная прокладка на сваях изолирует трубопровод от непосредственного взаимодействия с грунтом, между ними не возникает теплообмена. Также, надземная прокладка позволяет уменьшить воздействие на сплошность и целостность многолетнемерзлого грунта, локализует техногенные преобразования естественных ландшафтов, не провоцируя опасные процессы при дестабилизации природного состояния многолетнемерзлого грунта [22]. Однако, при надземной прокладке фундаментом выступают сваи, взаимодействующие с грунтом, которые могут испытывать влияние происходящих криогенных процессов в грунтах и передавать эти воздействия на опоры и сам трубопровод [1]. Для недопущения подобных влияний применяется инженерная защита, например различные обмазки и покрытия (смолы, нефть, полимерные покрытия, эмали) для предотвращения смерзания свай с грунтом и выпучивания касательными силами пучения, также рекомендуемой и применяемой при строительстве

магистральных трубопроводов является система термостабилизации грунта, для обеспечения и сохранения мерзлого состояния многолетнемерзлых грунтов [8].

Наземная прокладка нежелательна для использования в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, так как при сезонном протаивании верхнего слоя грунта трубопровод постепенно погружается в грунт, увеличивая напряжения в стенках трубы из-за непроектного положения, в случае прокладки в условиях паводков обвалование трубопровода неустойчиво и подвергается разрушению, при отрицательных температурах труба может обледенеть, что тоже создает непроектные нагрузки, для наземного трубопровода также необходимо предусматривать усиленную антикоррозионную защиту и другие меры по компенсации природных, геокриологических воздействий на трубу [1, 23].

## 5 Техническое предложение

### 5.1 Надземная прокладка трубопровода

В качестве защиты магистрального трубопровода от силовых воздействий из-за происходящих в грунтах процессов в результате протаивания и промерзания грунта, в настоящей работе предлагается применение надземной прокладки в виде монтажа трубопровода на опорах, расположенных на свайном основании. Грунты свайного основания используем в мерзлом состоянии согласно I принципу сооружения объектов на вечномёрзлых грунтах, для сохранения мерзлого состояния в настоящей работе предлагается применение специальных устройств – термостабилизаторов (сезонно-действующих охлаждающих устройств) [8]. На рисунке 10 представлен надземный трубопровод с инженерной защитой в виде термостабилизаторов.

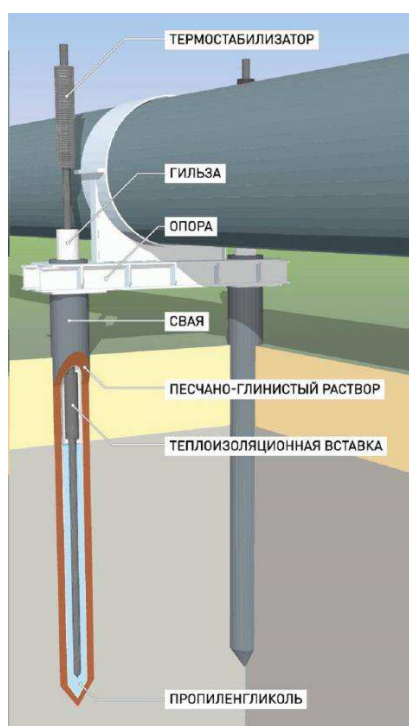


Рисунок 10 – Трубопровод с надземной схемой прокладки и термостабилизаторами грунтов [24]

Вертикальные термостабилизаторы понижают/сохраняют температуру грунтов основания в зоне отрицательных значений, обеспечивая несущую способность свайного фундамента и предупреждая выпучивание свай. Установка таких термостабилизаторов позволяет сформировать мерзлый массив грунта вокруг свай для предотвращения их вертикальных перемещений.

Термостабилизаторы активно работают зимой и сохраняют замороженное состояние грунта летом, до следующего холодного сезона, обеспечивая круглогодичное мерзлое состояние основания. Количество термостабилизаторов выбирают исходя из грунтовых условий, стандартно диапазон количества термостабилизаторов на одну сваю составляет от 1 до 3 штук [25].

## **5.2 Подземная прокладка с инженерной защитой**

Предлагаемый способ защиты трубопровода от морозного пучения и методика расчетов по определению ее параметров представлена в работе Е. В. Маркова [1]. Обеспечение проектного положения трубопровода и недопущение изменения напряжений в трубе и деформаций выше проектных значений достигается комбинированной инженерной защитой, состоящей из кольцевой теплоизоляции трубопровода, минимизирующей тепловое влияние трубопровода на окружающий грунт, что исключает/снижает степень пучения и обустройством грунтовой конструкции из непучинистого грунта вокруг трубопровода и под нижней его образующей. Применяемый материал грунтовой конструкции – крупно- и среднезернистый песок по своим свойствам в прокладываемой траншее является упруго-деформируемым, водонасыщенным телом, с большой фильтрующей способностью, то есть способностью свободно пропускать воду не обеспечивая ее скопления. Такой песок обладает малой влажностью при отрицательной температуре, не позволяя процессу пучения развиваться, подтягивая стороннюю влагу к фронту промерзания. Поэтому применение песка в основании и вокруг трубопровода

является эффективной защитой от пучения, несмотря на повышенную влажность окружающих грунтов. Объемные деформации пучения грунта подушки при процессе промерзания связаны только с промерзанием воды, содержащейся в нем изначально, такие деформации невелики и не превышают 9 % от объема (увеличения объема при фазовом переходе вода – лед). Обустройство подушки необходимо сразу под нижней образующей трубы, в таком случае ее эффективность максимальна [14].

Область применения определяется зонами пучинистого грунта по протяжению трубопровода. Для определения данных зон производится геотехнический мониторинг в виде работ по бурению геологических скважин каждые 50...200 метров для исследования грунта и определения его пучинистости/непучинистости. При этом, учитывая, что наибольшие напряжения наблюдаются на участках пучения от 1,5...21 м, а при больших участках пучения напряжения в стенке значительно уменьшаются, следует использовать защиту на всем протяжении между участком пучинистого и непучинистого грунта для недопущения пропуска критических зон воздействия, что уменьшает изгибные напряжения в 1,5...2 раза.

Теплоизоляция применяется определенной расчетной толщины, в данном случае в размере 100 мм на тех же участках, где применяется грунтовая подушка. Меньшая толщина теплоизоляции означает меньшую эффективность защиты, способствует увеличению толщины подушки, объективно более трудозатратной по применению. Большая толщина теплоизоляции не применяется из-за возрастающих расходов на балластировку трубопровода, так как теплоизоляция повышает его плавучесть и ограниченного предложения на рынке, максимальной толщиной в основном является 100 мм. Однако толщины в 100 мм может быть недостаточно для эффективной защиты от морозного пучения при температурах перекачиваемого продукта от -5 °С и ниже. В современном строительстве наиболее широко используются изделия на основе газонаполненных пластмасс малой теплопроводностью около 0,03 Вт/(м·°С) экструзионный пенополистирол (далее – ЭППС) и пенополиуретан (далее –



ППУ). Такая теплоизоляция обладает достаточной структурной прочностью, чтобы выдержать давление от морозного пучения (от 0,5 до 1 МПа). Также такая теплоизоляция обладает малыми коэффициентами водонасыщения по сравнению с другими видами, сохраняя свои теплоизоляционные свойства при воздействии воды.

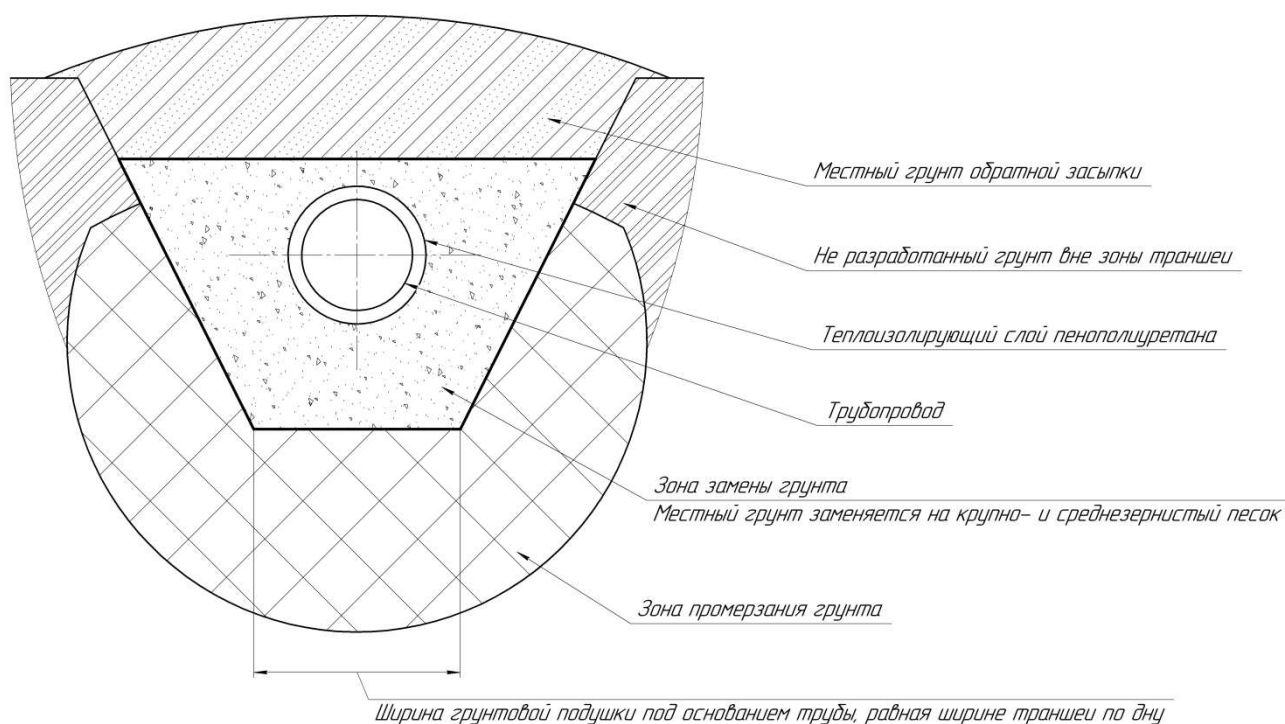


Рисунок 11 – Схема подземной прокладки трубопровода с применением теплоизоляции трубопровода и обустройством грунтовой конструкции

## **6 Сооружение подземного и надземного трубопроводов**

### **6.1 Подготовительные работы**

Перед началом строительно-монтажных работ необходимо провести обследование трассы, провести измерения и изучение характера местности, мерзлотно-грунтовых условий (групп грунтов, участков болот, льдонасыщенных грунтов). Для предупреждения аварийных ситуаций на всех участках трассы, подверженных опасным геологическим процессам необходимо обустроить контрольно-измерительные посты.

В течение всего срока строительства необходимо на участках с возможностью развития криогенных процессов проводить мониторинг состояния многолетнемерзлых грунтов на предмет соответствия характеристик прогнозным. Прогнозные характеристики формируются на основе предпроектного геотехнического мониторинга.

Внетрассовые подготовительные работы предполагают выполнение устройства дорог, мостов, переправ, городков строителей, подведение систем энергообеспечения, обустройство трубосварочных баз, карьеров для добычи необходимого грунта, заготовку и осушению грунта, складов для материалов и оборудования и обустройство их вне затапливаемых зон [26].

### **6.2 Сварочные, изоляционные и теплоизоляционные работы**

Сварка стыков труб, трубы с соединительными деталями, запорно-регулирующей арматурой производится такими способами, как ручная дуговая, автоматическая под слоем флюса, сварка с помощью порошковой проволоки, механизированная и автоматическая в защитных газах, аргодуговая и их комбинациями. Организация работ происходит различными методами, поточно-расчлененный, в линейном потоке, сварка на трубосварочных базах [27].

В процессе строительного-монтажных работ предпочтение отдается трубам с заводским антикоррозионным покрытием, с дальнейшей изоляцией сварных стыков в трассовых условиях покрытиями, совпадающими по характеристикам с заводскими, для изоляции применяются полимерные термоусаживающиеся материалы, терморезистивные, эпоксидные покрытия [26].

Теплоизолированная конструкция представляет собой трубу стальную, антикоррозийное покрытие, теплоизоляционное покрытие из различных материалов, защитную оболочку. В качестве антикоррозионного покрытия применяются многослойные покрытия разных исполнений по условиям, в частности трехслойные покрытия из эпоксидной краски в качестве грунтового слоя, термопластичные полимеры в качестве адгезионного слоя, и полиэтилен в качестве защитного покрытия [28]. Теплоизоляция трубы и соединительных деталей в заводских условиях предполагает нанесение жесткого заливочного пенополиуретана, в условиях промышленных изоляционных баз из заливочного жесткого пенополиуретана, сегментов из пенополиуретана, экструзионного пенополистирола, вспененного каучука, матов минеральных, плит из минеральной ваты, матов и ваты из стекловолокна, пеностекла [27]. Защитная оболочка теплоизоляции состоит из оцинкованной стали, полиэтилена или их комбинации. Оболочка защищает теплоизоляцию от механических повреждений и проникновения воды и пара к поверхности трубы [1].

Монтаж теплоизолированных труб должен проводиться с использованием мер по защите целостности изоляционных покрытий, раскладки трубы на лежках перед укладкой и монтажом, исключения загрязнения трубы, при монтаже на опоры применять стропы с мягкими подкладками [27].

## **6.3 Подземная прокладка**

### **6.3.1 Земляные работы**

Земляные работы в районах распространения многолетнемерзлых грунтов необходимо выполнять преимущественно в зимний период из-за неустойчивого состояния ММГ в летний период, также в не зимний период можно столкнуться с невозможностью подъезда строительной техники к объекту строительства. Работы следует проводить с максимальным сохранением растительного слоя грунта вне области траншеи. Способ разработки траншеи для укладки трубопровода выбирается в зависимости от физико-механических свойств грунта, его прочностно-деформационной характеристики, пористости, степени его промерзания, содержания и расположения льдоцементных связей, состава грунта [26, 29].

Разработка грунта может проводиться с предохранением от промерзания и последующей разработкой, рыхлением мерзлого грунта и дальнейшей разработкой, непосредственно разработкой на небольших глубинах, оттаиванием грунта и его разработкой [30].

Рыхление грунта для разработки траншеи экскаваторами выполняется буровзрывным или механическим способом. К буровзрывным методам относят метод шпуровых зарядов, скважинных зарядов, щелевых зарядов. Шпуровые заряды применяются в основном при разработках траншей, котлованов и выемок глубиной промерзания до 1,2 м, диаметры шпуров закладки до 75 мм, глубина до 0,95 от глубины промерзания, при этом глубина как шпуров, так и скважин, должна составлять 100...120 % глубины траншеи. Метод скважинных зарядов при промерзании на глубину 1,8 м и более, особенно распространен в районах Крайнего севера, Сибири, диаметр скважины закладки 75...140 мм, глубина не более 0,9 от глубины промерзания. Щелевой метод характеризуется использованием на глубинах промерзания 0,8...2 м, глубиной зарядных щелей до 0,95 глубины промерзания и шириной щелей 100...300 мм. Для взрывов

используют водоустойчивые взрывчатые вещества, например аммонит, детонит. Для осуществления бурения и нарезания скважин и щелей используются механические машины с оборудованием в виде электросверл ЭР-16, СЭР-19, СЭР-20, машинами шнекового типа БТС-60, М-3, ШПА-2, термическими способами. Щели нарезаются дискофрезерными, баровыми машинами, может применяться роторный экскаватор ЭТР-132А. Механический способ подразумевает использование статического и динамического способов резания и раскола мерзлого грунта. Резание производится с применением тягача, создающего усилие и навесного оборудования в виде рабочих органов – зубов, при этом послойная разработка не ограничивает применения резания глубиной промерзания [29]. Динамический подразумевает использование клиньев-молотов, дисковых нарезных машин, баровых щеленарезных машин, виброрыхлителей [30].

При выполнении рыхления многолетнемерзлого грунта буро-взрывным способом работы должны проводиться так, чтобы участки с взорванным грунтом были разработаны в течение одной смены, исходя из этого необходимо определять длину участков проведения работ, выдерживая расстояние между ними, обеспечивая безопасность в случае работы нескольких участков.

В случаях, когда мерзлый грунт на участке не имеет каменистых включений, его разработка рекомендуется с помощью роторного траншейного экскаватора. При этом если ширина траншеи превышает максимальную для экскаватора, возможна работа в два прохода. Применение одноковшового экскаватора для разработки грунта необходимо сопровождать механическим или с помощью взрывчатых веществ рыхлением.

Перед началом обустройства траншеи и укладки трубопровода должна быть выполнена очистка дна траншеи от различных крупных включений, снега [26].

Перед укладыванием трубы в траншею для уменьшения воздействия морозного пучения необходимо предусматривать специальные мероприятия, одним из которых, включаемых в земляные работы, является замена грунта в

основании трубопровода и вокруг него [31]. Грунт заменяется на глубину промерзания либо на расчетную глубину, при которой напряженно-деформированное состояние при защите трубопровода от пучения будет оптимальным. Заменять грунт местный пучинистый грунта основания необходимо на непучинистый крупно- или среднезернистый строительный песок. Выемка и замена грунта происходит с помощью строительной техники, использующейся для разработки траншеи. Обратную засыпку выполняют по обычной схеме [1].

Далее перед укладкой требуется засыпка дна траншеи на глубину 100 мм, в случае использования теплоизоляции на трубе на 200 мм, и над верхней образующей трубопровода на 200 мм минеральным сыпучим грунтом с небольшими твердыми фракциями, при необходимости защиты боковых стенок трубы от смерзания заменяемым грунтом и пучения грунтом подсыпки может являться аналогичный заменяемому грунту грунтовой подушки. При обсыпке трубы необходимо применять защиту от механических повреждений ее поверхности, различные обертки трубопровода, направление потока грунта с транспортера на стенку траншеи при использовании роторного экскаватора.

Темпы работ по разработке траншеи, монтажа теплоизоляции в случае ее отсутствия в заводском исполнении, и укладки трубы должны соответствовать для недопущения заносов снегом и смерзания отвала грунта. Вслед за ними производится обратная засыпка в два этапа, первым является засыпка экскаватором грунта не менее полуметра поверх присыпки фракциями до 100 мм, вторым этапом засыпается весь ставшийся грунт с помощью бульдозера. Для учета осадки грунта обустроивается насыпь над трубой с превышением не менее чем на одну треть глубины траншеи над поверхностью строительной площадки. Насыпи отсыпаются из привозного, добываемого в карьерах сыпучемерзлого, для возможности круглогодичной эксплуатации, грунта [31].

Вся применяемая строительная техника рекомендуется в северном исполнении, способная работать при низких температурах.

## **6.4 Надземная прокладка**

### **6.4.1 Установка свай**

Одним из самых надежных типов фундаментов при использовании грунта основания в мерзлом состоянии является свайный фундамент. Свайный фундамент передает нагрузку на грунты оснований как за счет смерзания с боковыми стенками, так и торцом сваи. Технология устройства и способ установки свай свайного фундамента, а также выбор техники зависит от грунтовых условий (температуры, наличия включений, состава грунта, несущей способности), конструкции свайных опор, технико-экономических расчетов, основными материалами при устройстве свайного фундамента являются железобетон и бетон, могут использоваться стальные сваи [26, 32].

Общий вид технологии установки готовых свай в многолетнемерзлых грунтах представляет собой подготовительные работы, бурение лидирующих скважин или непосредственная забивка свай без бурения скважины при малой толщине замерзшего слоя, погружение свай. Предпочтительнее для использования технологии не нарушающие мерзлого состояния грунта, так как в таком состоянии несущая способность грунтов выше, и также обеспечивается доступ строительной техники. Также в рамках свайных работ проводятся работы по устраиванию ростверков в виде монолитных железобетонных плит, распределяющих нагрузки между сваями.

Подготовительные работы включают в себя планировку площади, ее расчистку, разбивку положения свай, обустройство путей для движения машин, также производится пробная забивка, с дальнейшими корректировками схем забивки [33].

Способы установки свай свайных опор в грунт должны обеспечивать сохранность многолетнемерзлых грунтов, в строительстве трубопроводов применяются следующие способы: бурозабивной, буроопускной, бурообсадной, применение винтовых свай [26].

Буроабивной способ установки свай предполагает предварительное бурение скважин-лидеров, с диаметром на один или два сантиметра меньше диаметра свай. Способ в основном подходит для пластичномерзлых грунтов без крупнообмолочных включений, в некоторых случаях в сезон оттаивания грунта в пластичных грунтах допускается забивка свай непосредственно в грунт без пробуривания скважины. Достоинствами являются незначительный обогрев грунта, быстрое смерзание, высокая точность забивки, отсутствие необходимости в грунтовых растворах. К недостаткам относится возможность применения только в пластичномерзлых грунтах, сложны в установке.

Бурообсадные сваи представляют собой полые круглые сваи-оболочки, погружаемые путем разбуривания забоя через полость свай, обсаживая их забивкой. Данный метод применяется при наличии грунтовых вод и смешанных слоев, проходящих через мерзлые и талые породы. Полость свай заполняется грунтом или бетоном.

Искусственное промораживание грунта в случаях использования буроабивного и бурообсадного способа забивки свай допускается только после их погружения.

Буроопускной способ погружения предполагает предварительное бурение скважин с превышением диаметра свай в мерзлом грунте с заполнением скважины грунтовым раствором (песчано-глинистые, песчано-цементные и прочие), смерзание с которым обеспечивает несущую способность свайного фундамента. Вид свай при данном способе может быть как свая-облочка, так и свая-столб. Применяется буроопускной способ в твердомерзлых грунтах и пластичномерзлых грунтах, в том числе с крупнообмолочными включениями, со средней температурой грунта от  $-0,5$  °C и ниже. Плюсами данного способа являются широкая применяемость мерзлотно-грунтовых условиях, которую можно расширить дополнительными мероприятиями, например искусственным понижением температуры грунта через скважину, возможность применения различных видов свай, разных размеров и составных материалов, также данный способ позволяет гарантировать целостность свай, точность установки,



регулирования состава грунтовых растворов в зависимости от нужных свойств. К недостаткам можно отнести широкий объем бурильных работ, трудоемкость приготовления грунтовых растворов. Установка сваи рекомендуется непосредственно после пробуривания скважины, свободным погружением, из скважины должна быть удалена вода, лед, в случае запыления скважин должны предусматриваться мероприятия по обсадке стенок [32].

Опускной способ погружения, также возможный для использования в многолетнемерзлых грунтах при редкоостровном их расположении, предполагает оттаивание мерзлого грунта прежде установки сваи. Данный способ пригоден для твердомерзлых глинистых грунтов, мелких и пылеватых песков при содержащихся твердомерзлых включениях, но не более 15 %. Оттаивание грунта производится паром в виде паровых игл, водой, электричеством, оттаивание производится на глубину, соответствующую глубине погружения сваи по проекту, при большем погружении сваи при ее установке, производится подсыпка скважины щебнем. Для погружения паровых игл может производиться бурение лидерной скважины. Погружение сваи осуществляется опусканием с небольшой высоты стреловыми или башенными кранами свободно или с пригрузами, для повышения производительности в песчаных грунтах эффективнее использовать вибропогружатели, в глинистых грунтах применяются сваебойные машины виброударного и ударного действия (вибромолоты, дизельмолоты, механические молоты, гидравлические молоты) [32, 34].

Применение винтовых свай. Винтовые сваи представляют собой полные сваи с одной или несколькими лопастями, винтовые сваи погружаются в грунт завинчиванием с помощью предварительно пробуренных лидерных скважин, меньшего, чем диаметр сваи, поперечного сечения. Винтовые сваи имеют следующие преимущества: повышенную скорость возведения фундамента, устойчивость к нагрузкам, устойчивость к морозному пучению в связи с укреплением винтовых лопастей в грунте по типу анкера, отсутствие мокрых

процессов, при установке нет необходимости в цементно-песчаном растворе, долгий срок службы до 80 лет [35].

#### **6.4.2 Термостабилизация грунтов**

Термостабилизаторы грунта или сезонно-действующие охлаждающие устройства предназначены для сохранения грунтов в мерзлом состоянии. Сохранение грунтов в мерзлом состоянии обеспечивает их устойчивость и надежность грунта и сваи при эксплуатации сооружений. Применение термостабилизаторов осуществляется и на площадочных объектах, и на объектах линейных, для опор надземных трубопроводов, линий электропередач, освещения, откосов путей сообщения, дорог и прочих сооружений. Устанавливаются термостабилизаторы на всю глубину свайного основания.

Термостабилизаторы представляют собой холодильные устройства, теплообменники без внешних источников питания, состоящие из подземной испарительной и надземной конденсаторной частей. Они работают за счет обмена теплом с окружающей средой, при отрицательных температурах воздуха, передавая через хладагент тепло от грунта воздуху при наличии разницы температур между грунтом и воздухом, как правило при температуре воздуха от  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже, если температура радиатора становится выше температуры теплоносителя, работа устройства прекращается. Передача тепла происходит хладагентом, конденсирующимся при низких температурах в ребристом радиаторе, стекая обратно вниз, через стенки корпуса снова забирает теплоту грунта, испаряется, попадая в верхнюю часть. В верхней части ребристая поверхность способствует активному обмену теплом между атмосферным воздухом и сконденсированным хладагентом [36].

Хладагентами могут выступать жидкий аммиак, жидкий углекислый газ. При температурах от  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  промерзание может достигать 1,5 м вокруг термостабилизатора, имея геометрическую форму, показанную на рисунке 12.

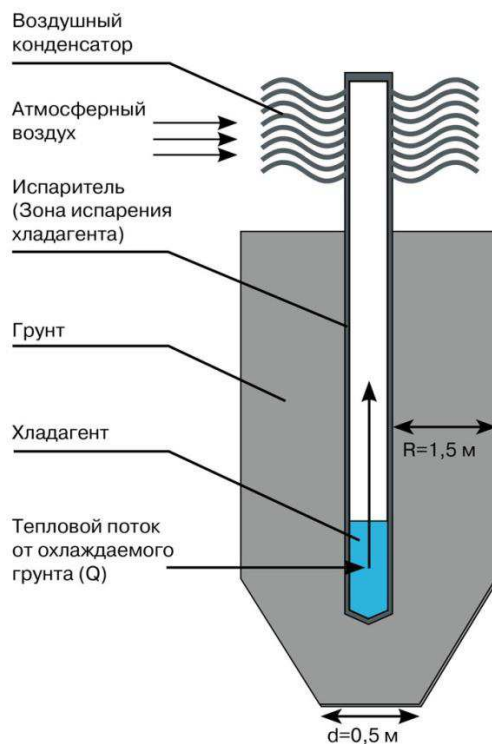


Рисунок 12 – Общая схема термостабилизатора [36]

Существует разновидность конструкций индивидуальных сезонно-действующих термостабилизаторов в виде термостабилизатора с полугерметичной гильзой, куда помещают стандартное сезонно-действующее устройство. Незамерзающая жидкость в гильзе обеспечивает теплообмен между грунтом и испарительной частью корпуса термостабилизатора, являясь буфером обмена теплом. Данное улучшение позволяет осуществлять быструю замену термостабилизатора [37]. Также возможно использование термостабилизатора совместно со свайей, установив гильзу с термостабилизатором внутрь полости сваи [38].

### 6.4.3 Опоры надземных трубопроводов

Опора трубопровода является металлической конструкцией, передающей нагрузку от трубопровода к свайному фундаменту. Опоры также

предназначены для защиты трубы от весовых перегрузок, компенсации температурных расширений, различных вибраций.

Основными видами опор являются неподвижные и подвижные (скользящие) опоры. Данные опоры предназначены для разных целей и, как правило, эксплуатируются совместно друг с другом [39].

Неподвижные опоры предназначены для жесткого закрепления трубопровода в определенном положении. Данные опоры воспринимают и компенсируют нагрузки на трубопровод, нагрузку от веса трубы и перекачиваемой среды, температурную нагрузку, все вибрации, изменения давления потока продукта. Неподвижные опоры для магистральных трубопроводов больших диаметров монтируются каждые 400...500 метров [24], с обустройством компенсаторов между ними. Есть опоры трубчатые, хомутовые, регулируемые.

Подвижные опоры способны перемещаться в заданном направлении, продольном, поперечном, в направлении любой оси. Данные опоры и их разновидности в виде катковых, на кронштейнах, скользящие, жесткие подвески, предназначены для беспрепятственного перемещения трубы благодаря антифрикционным материалам подкладки и предотвращения повреждений трубы трением при обеспечении продольной устойчивости.

Опоры рассчитываются с закладываемыми потерями нескольких из них из-за разрушения либо не обеспечения сваями несущей способности. В северном исполнении необходимо использовать хладостойкий металл для конструирования опор. Надземные трубопроводы должны быть электрически изолированы от опор в рамках норм антикоррозийной защиты [40].

#### **6.4.4 Применение компенсаторов**

При эксплуатации трубопровода, вследствие перепадов температур, происходят процессы температурного расширения металла трубы, передающиеся на опоры трубопровода, арматуру, провоцируя деформации и

разрушения. Для решения данной проблемы используют установку сильфонных компенсаторов и самокомпенсацию.

Установка сильфонного компенсатора подразумевает установку герметичной гофрированной металлической оболочки, устойчивой к деформациям растяжения/сжатия, изгибов, давления внутреннего и внешнего, температуры, тем самым компенсируя расширения/сжатия металла трубы.

Самокомпенсация обеспечивается путем установки Г-, П-, Z- образных и трапецеидальных компенсаторов в виде характерных фигурных изгибов тела трубы. На концах открытого участка обычно устанавливают Г-образные компенсаторы, в средней части П-образные. Применение самокомпенсации обеспечивает стабильную работу, однако имеет минусы в виде увеличения расхода труб, невозможность пуска скребка [41].

## **7 Расчетная часть**

Объектом расчетов примем магистральный газопровод с наружным диаметром 820 мм. Протяженность участка прокладки примем равной 1 км. Внутреннее рабочее давление 7,5 МПа. Температуру продукта примем равной -5 °С. Произведем расчет для определения необходимого количества опор надземного трубопровода, и, как следствие, количества свай и термостабилизаторов грунта в дальнейших расчетах, расчет толщины теплоизоляции надземного трубопровода; определим необходимые геометрические параметры траншеи подземного трубопровода для дальнейших расчетов параметров применяемой инженерной защиты.

### **7.1 Расчет толщины стенки трубы**

В строительстве линейных сооружений, таких как магистральные трубопроводы, применяются различные трубы с разными свойствами сталей и технологиями изготовления. Применяются бесшовные и сварные трубы, с прямыми и спиральными швами, стали применяются легированные и углеродистые, первые обладают более высокими прочностными, антикоррозионными и литейными качествами [42].

Для сооружения магистрального трубопровода примем трубы из низколегированной стали, электросварные прямошовные, для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом с минимальной температурой стенки до -60 °С марки 10Г2ФБЮ [43].

Рассчитаем толщину стенки стального надземного трубопровода в соответствии с СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы [44].

Расчет толщины стенки выполняется по формуле:

$$\delta = \frac{n \cdot p \cdot D_n}{2 \cdot (R_1 + n \cdot p)}, \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент надежности по нагрузке – внутреннему давлению в трубопроводе, (согласно таблице 14 СП 36.13330.2012 принято  $n = 1,1$ ).

$p$  – рабочее (нормативное) давление, принято 7,5 МПа;

$D_n$  – наружный диаметр трубы, принятый 820 мм;

$R_1$  – сопротивление растяжению (сжатию) металла трубы.

Рассчитаем сопротивление металла:

$$R_1 = \frac{R_1^H \cdot m}{k_1 \cdot k_n}, \quad (2)$$

где  $R_1^H$  – нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла трубы и сварных соединений, равное минимальному значению временного сопротивления,  $R_1^H = 590$  Н/мм<sup>2</sup> [61];

$m$  – коэффициент условий работы трубопровода (согласно таблице 1 СП 36.13330.2012 принято  $m = 0,99$ );

$k_1$  – коэффициент по надежности по материалу (согласно таблице 10 СП 36.13330.2012 принято  $k_1 = 1,4$ );

$k_n$  – коэффициент надежности по ответственности трубопровода (согласно таблице 12 СП 36.13330.2012 принято  $k_n = 1,1$ ).

Находим сопротивление металла растяжению (сжатию) по формуле (2):

$$R_1 = \frac{590 \cdot 0,99}{1,4 \cdot 1,1} = 379,23 \text{ Н/мм}^2.$$

Находим значение толщины стенки трубы по формуле (1):

$$\delta = \frac{1,1 \cdot 7,5 \cdot 820}{2 \cdot (379,23 + 1,1 \cdot 7,5)} = 8,73 \text{ мм.}$$

Полученное значение толщины стенки трубы округляем до ближайшего большего значения по сортаменту на трубную продукцию [45]. Конечная толщина стенки равна  $\delta = 9$  мм.

### 7.1.1 Определение расстояния между опорами трубопровода

При исходном значении наружного диаметра трубы и толщины стенки определим расстояния между опорами трубопровода по таблице 1 [46].

Таблица 1 – Расстояние между опорами при их установке

Наружный диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Предельно допустимое расстояние, м	Принимаемое расстояние при надземной и подземной прокладке в тоннелях, м	Принимаемое расстояние подземной прокладке в непроходных каналах, м
25	2,5	2,5	1,9	1,9
32	2,5	3,2	2,7	2,7
40	2,5	3,9	3,0	3,0
57	2,5	4,9	3,8	3,8
76	3,0	6,4	4,9	3,8
89	3,0	6,9	5,3	4,1
108	3,5	8,3	6,4	4,9
133	4,0	9,6	7,4	5,6
159	4,0	10,4	8,0	6,1
219	4,0	12,8	9,8	6,4
273	4,5	14,7	11,3	7,9



Окончание таблицы 1

Наружный диаметр трубы, мм	Толщина стенки трубы, мм	Предельно допустимое расстояние, м	Принимаемое расстояние при надземной и подземной прокладке в тоннелях, м	Принимаемое расстояние подземной прокладке в непроходных каналах, м
325	5,0	16,6	12,8	8,3
377	5,5	18,3	14,1	9,2
426	6,0	19,8	15,2	9,9
530	7,0	22,7	17,5	11,4
630	8,0	25,6	19,7	12,8
720	8,5	27,7	21,3	13,9
820	9,5	30,3	23,3	15,2
920	10,0	31,9	24,5	16,0
1020	11,0	33,6	25,8	16,8

Расстояние между опорами примем равным 30,3 м. Количество опор на 1000 метров равно:

$$K = \frac{1000}{30,3} = 33 \text{ шт.}$$

Согласно опыту строительства северных сооружений [47] через каждые 500 метров необходимо устанавливать неподвижные опоры, между которыми располагаются подвижные. Неподвижные опоры примем четырехопорными, подвижные двухопорными. Неподвижных опор на участке будет установлено 2 штуки. Подвижных 31 штука. Общее количество свай 70 штук. Количество термостабилизаторов примем исходя из применения двух стабилизаторов грунта на одну сваю, общее количество равно 140 штук.

## 7.2 Расчет толщины теплоизоляции надземного трубопровода

Теплоизоляционные конструкции предназначены для того, чтобы трубопровод сохранял параметры теплоносителя в период эксплуатации, обеспечивал нормативный уровень тепловых потерь при транспортировке, и безопасность при его использовании.

Выполним расчет толщины теплоизоляции по нормированной плотности теплового потока в соответствии с СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [48].

Для однослойных цилиндрических поверхностей с диаметром менее 1,4 м используется формула:

$$\ln B = 2\pi\lambda_{\text{из}} \left[ \frac{K(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{q_{\text{Л}}^{\text{н}}} - R_{\text{н}}^{\text{Л}} \right], \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент дополнительных тепловых потерь через опоры трубопроводов (согласно СП 36.13330.2012 принимаем равным 1);

$t_{\text{в}}$  – температура среды внутри изолируемого объекта,  $-5$  °С;

$t_{\text{н}}$  – температура окружающей среды, в данном расчете принимается как среднегодовая температура воздуха, за среднегодовую температуру примем температуру по находящемуся на территории исследования г. Надым, °С (согласно таблице 5.1 СП 131.13330.2018 Строительная климатология принято  $-5,4$  °С) [49];

$q_{\text{Л}}^{\text{н}}$  – нормированная плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup> (согласно таблице 6 СП 61.13330.2012 принято  $q_{\text{Л}}^{\text{н}} = 11,5$  Вт/м<sup>2</sup>);

$R_{\text{н}}^{\text{Л}}$  – линейное термическое сопротивление теплоотдаче наружной теплоизоляции, м·°С/Вт (согласно таблице В.3 СП 36.13330.2012 принято  $R_{\text{н}}^{\text{Л}} = 0,013$  м·°С/Вт);

$\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·°С) (согласно таблице Б.1 СП 61.13330.2012 принято  $\lambda_{из}=0,03$  Вт/(м·°С)).

Толщина теплоизоляции находится по следующей формуле:

$$\delta_{из} = \frac{d_{н}^{ст} (B - 1)}{2}, \quad (4)$$

где  $d_{н}^{ст}$  – наружный диаметр стенки изолируемого объекта,  $d_{н}^{ст} = 0,82$  м.

Определим величину  $\ln B$  по формуле (3):

$$\ln B = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \left[ \frac{1 \cdot ((-5) - (-5,4))}{11,5} - 0,013 \right] = -0,17.$$

$$B = 0,84.$$

Определим толщину теплоизоляции по формуле (4):

$$\delta = \frac{0,82 \cdot (0,84 - 1)}{2} = 64,1 \text{ мм.}$$

### **7.3 Определение геометрических параметров траншеи подземного трубопровода с учетом грунтовой конструкции и определение объема заменяемого грунта**

Согласно СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы при номинальном диаметре  $\leq DN1000$  заглубление до верха трубы равно 0,8 м.

Ширина траншеи по дну согласно СП 86.13330.2014 для трубопровода  $D \geq 1000$  равна:

$$l_T = 1,5d_H, \quad (5)$$

где  $d_H$  – наружный диаметр трубопровода с учетом толщины теплоизоляции, толщину теплоизоляции подземного трубопровода примем 100 мм [7].

Ширина траншеи понизу по формуле (5) равна:

$$l_T = 1,5 \cdot 1,02 = 1,53 \text{ м.}$$

Определим геометрические параметры инженерной защиты опираясь на работу Е. В. Маркова [1]. Ширина полосы заменяемого грунта равна ширине траншеи понизу  $l_T = 1,53$ . Высоту заменяемого грунта отсчитываем от границы на 200 мм выше верха трубы и примем пропорционально увеличенной от применяемой защиты для трубопровода диаметром 530 мм, равной  $h_{\pi} = 1,3$  м. Высота замены грунта равна  $h_3 = 2$  м.

Высота траншеи с учетом грунтовой конструкции равна:

$$h_T = 0,8 + 2,0 - 0,2 = 2,6 \text{ м.}$$

Примем крутизну откоса равной 1:0,5 согласно таблице 8.1 СП 86.13330.2014. Магистральные трубопроводы. Заложение траншеи равно 1,3 м. Ширина траншеи поверху равна 4,13 м.

Найдем объем необходимого строительного песка для замены грунта в траншее трубопровода. Объем трубопровода 820 мм в изоляции 100 мм длиной 1 км трубопровода равен:

$$V_m = 3,14 \cdot 0,51^2 \cdot 1000 = 817 \text{ м}^3.$$

Объем грунта 1 км траншеи на 2 метра от дна:

$$V_{\text{д-в}} = (2 \cdot 1 + 2 \cdot 1,53) \cdot 1000 = 5060 \text{ м}^3.$$

Объем необходимого строительного песка для замены грунта равен:

$$V_{\text{п}} = 5060 - 817 = 4243 \text{ м}^3.$$

## **8 Безопасность жизнедеятельности и экология**

Нефтяная и газовая отрасли важны для общества, как мощный поставщик энергоресурсов и материалов для производств. Нефтегазовая отрасль относится к опасной, способной привести к большим потерям, вреду окружающей среде и разрушениям, в случае аварий. Аварии, травматизм, устаревшие технологии и оборудование и, как следствие, нанесение большего вреда экологии, возможность крупных катастроф, все это необходимо учитывать и компаниями отрасли ведется постоянная работа по обеспечению безопасности и экологичности проектируемых и уже эксплуатируемых объектов, невзирая на большие затраты на подобные работы, переоборудования, установки современных систем, проектирование, расширения штата специалистами по безопасности и экологии.

### **8.1 Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ**

Рабочим местом при сооружении магистрального трубопровода является открытая площадка. Проводящиеся на объекте виды работ включают в себя подготовительную работу, а именно строительство баз, складов, дорог, переправ, временных жилых городков, сварочную работу, погрузочно-разгрузочную работу, транспортировку труб, арматуры, техники, земляную работу, разработку траншеи, выемку, укладку трубопровода, засыпку, при строительстве надземных трубопроводов осуществляем монтаж свайного основания, опор, трубопровода на опоры, его закрепление.

На трубопроводчика линейного при сооружении трубопроводов возможно воздействие вредных и опасных производственных факторов, представленных в таблице 2 [50].

Таблица 2 – Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов при проведении работ

Классификация факторов	Опасные и вредные производственные факторы
Физические	Воздействие силы тяжести и последующее падение объектов на работника или самого работника на опорную поверхность
	Низкие температуры воздуха
	Повышенный уровень вибраций и шума
	Недостаток естественного освещения
	Ожоги/обморожения об объекты высокой/низкой температуры на производственной площадке
Физические с химическими свойствами	Повышенные загрязнения воздушной среды вредными примесями
Психофизиологические	Физические перегрузки
	Нервно-психические перегрузки

По основному виду экономической деятельности установлен I класс профессионального риска, характеризующий уровень производственного травматизма, профзаболеваемости и расходов по обеспечению по обязательному социальному страхованию. Установленные для данного класса страховые тарифы на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний составляют 0,2 % к начисленной оплате труда [51].

На объекте возможны следующие аварийные ситуации:

- взрыв;
- возпламенение;
- падение объектов.

Данные аварийные ситуации способны привести к серьезным травмам, человеческим жертвам, разрушениям окружающей инфраструктуры, природным катастрофам в виде пожаров.

## **8.2 Инженерные и организационные решения по обеспечению безопасности работ**

Для характеристики условий эксплуатации проектируемого объекта рассмотрим север Западной Сибири, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа на территории Тюменской области до 60° северной широты. Климатический регион (пояс) – Ib (IV). Средняя температура воздуха зимних месяцы составляет -41 °С, а наиболее вероятная средняя скорость ветра составляет 1,3 м/с [24].

Территория охватывает умеренный, субарктический и арктический климатические пояса. На территории дуют сильные холодные северные ветра, объемы осадков варьируются от 300 до 500 мм/год с севера на юг соответственно.

Зима составляет порядка 7...8 месяцев, при среднемесячных температурах достигающих -29 °С и ниже, минимальные достигают -60 °С. Относительная среднегодовая влажность воздуха 78 %. Среднегодовые температуры находятся на уровне от -5...-7 °С до 10 °С, средняя температура летних месяцев составляет 10...14 °С, при максимальной около 30 °С.

Работы по сооружению линейного объекта выполняются в зимний период по причине распространенности на территории многолетнемерзлых пород и их неустойчивости в теплый период. Работы происходят в светлое время суток на открытой площадке.

На открытой территории или в неотапливаемых помещениях работы в охлаждающей среде предполагают наличие защиты работников от охлаждения, выполнено информирование работников о влиянии охлаждения на организм и методах его предупреждения при выполнении работ [52]. Для работников составлен график перерывов на обогрев в зависимости от климатических условий на площадке, температуру в местах обогрева поддерживается на уровне 21...25 °С, с возможностью отогрева наиболее уязвимых частей тела к холоду – кистей и стоп. Согласно рекомендациям большинство видов работ не



выполняется при температуре ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , отдельные виды работ, возможные к выполнению при температурах ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  предполагают наличие защиты лица и дыхательных путей.

Вспомогательные и административно-бытовые помещения оснащены системами отопления и вентиляции для поддержания оптимальных параметров среды внутри данных помещений. Для обогрева используются различные печи, тепловые пушки.

### **8.3 Санитарные требования к помещению и размещению используемого оборудования**

Сооружение магистрального газопровода проводится на открытой площадке. На строительной площадке обеспечены комфортные и безопасные условия труда, в случаях несоответствия естественной освещенности, место проведения работ обеспечивается осветительными устройствами равномерного или локализованного типа по виду необходимых работ [53]. Требования по нормам освещенности указаны в таблице 3, в их число входят: нормы освещенности  $E_{\text{экс}}$ , равномерность освещенности  $U_o$ , предельный показатель блескости  $GR_L$ , значения общего индекса цветопередачи  $R_a$ .

Для освещения открытой площадки в виду значительности размера территории в основном используются прожекторы с различными видами осветительных элементов, размещаемые на различных высотах с помощью специальных мачт. Для освещения объекта применим галогенные прожекторы Stayer Master Maxlight мощностью 1000 Вт.

Основным источником шума, вибраций и вредных веществ в воздухе рабочей зоны является строительная техника. Применяемая при земляных работах техника издает шум, не превышающий 80 дБ. Для снижения вредного шумового воздействия используются противошумные наушники РОСОМЗ СОМЗ-25 ЯМАЛ, обеспечивающие защиту до 104 дБ, с возможностью использования совместно с каской. В зависимости от контакта оператора с

вибрирующим объектом применяются следующие СИЗ: рукавицы, перчатки, вкладыши для рук; обувь, подметки, наколенники для ног; нагрудники, пояса, специальные костюмы для тела [54, 55].

Таблица 3 – Нормы освещенности стройплощадок

Вид работ	$E_{\text{экс}}$ , лк	$U_o$ , не менее	$GR_L$ , не более	$R_a$ , не менее
Расчистка территории, выемка грунта, погрузка	20	0,25	55	20
Строительные работы, монтаж дренажных труб, вспомогательные и складские работы	50	0,40	50	20
Монтаж арматуры, установка деревянных конструкций, прокладка электрических кабелей	100	0,40	45	40
Соединение элементов при электро- и трубомонтаже	200	0,50	45	40

На строительной площадке осуществляется контроль температуры и влажности воздуха, концентрации вредных веществ рабочей среды. Для защиты от влияния температурных факторов используется защита в виде специально подобранной одежды, защищающей от низких температур и возможных ожогов. Для осуществления контроля параметров окружающей среды используются термометры, влагомеры. Для осуществления контроля за превышениями допустимых концентраций веществ в воздухе рабочей зоны используется многокомпонентный переносной газоанализатор ВМ-25 [56].

## 8.4 Обеспечение безопасности технологического процесса

В процессе эксплуатации строительной техники используются различные виды топлив: бензин, дизельное топливо, керосин, образующие при сгорании вредные соединения в составе выхлопных газов: углерода оксид, азота оксид, азота диоксид, бензол, бензапирен, формальдегид концентрацию которых необходимо контролировать на рабочей площадке.

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ, их класс опасности, химический состав и влияние на организм человека представлены в таблице 4 [56].

Таблица 4 – Предельно-допустимые концентрации вредных веществ

Вещества	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Химический состав	Действие на организм
Углерода оксид	20	IV	CO	Удушение
Азота оксид	5	III	NO	Раздражение, удушение
Азота диоксид	2	III	NO <sub>2</sub>	Раздражение, удушение
Бензол	15	II	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Угнетение сердечной деятельности, канцерогенность
Бензапирен	0,00015	I	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	Угнетение сердечной деятельности, канцерогенность
Формальдегид	0,5	II	CH <sub>2</sub> O	Раздражение, поражение центральной нервной системы

Контроль за ПДК вредных веществ производится в воздухе рабочей зоны с помощью газоанализаторов, периодичность контроля определяется в зависимости от класса, при этом контроль вредных веществ с остронаправленным механизмом действия производится в непрерывном режиме с сигнализацией о превышении ПДК.

Используемые инструменты для проведения работ содержатся в чистоте. Защитное заземление не требуется. Для предотвращения попадания вредных

веществ в организм человека, исключения негативного влияния окружающей среды на органы человека и обеспечения безопасности во время проведения работ на строительной площадке применяются различные специальные средства защиты [57].

## **8.5 Обеспечение взрывопожарной и пожарной безопасности**

При сооружении магистральных газопроводов руководствуемся правилами пожарной безопасности. На строительной площадке возможны возгорания легковоспламеняющихся веществ, таких как дизельное топливо, бензин, керосин.

Возникновение пожара возможно на складах горючесмазочных материалов при несоблюдении правил безопасности в зоне складирования, природных факторов в виде молний, отсутствия защиты от накопления статического электричества; на открытой площадке причиной возгорания могут послужить искры от используемого инструмента, ударов металлических предметов, огневые работы; также пожары возможны из-за несвоевременного ремонта и неправильной эксплуатации строительной техники, человеческого фактора (курение, разведение огня).

Дизельное топливо, бензин и керосин являются легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) 3 класса опасности. Температура вспышки бензина составляет  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , дизельного топлива  $35\text{...}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , керосина от  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Концентрационные пределы распространения пламени: для бензина 0,3 % (нижний) и 1,3 % (верхний), для керосина 0,7 % (нижний) и 5 % (верхний), для дизельного топлива 2,1 % (нижний) и 12 % (верхний). Предельно допустимая концентрация паров в воздухе составляет  $100\text{ мг/м}^3$  для бензина,  $300\text{ мг/м}^3$  для дизельного топлива,  $0,6\text{ г/м}^3$  для керосина [58].

Зона проведения работ относится к категории А, так как в наружных установках присутствуют легковоспламеняющиеся жидкости с температурой

вспышки не более 28 °С, способные гореть совместно с водой, воздухом, друг с другом, с возникновением волн давления при их сгорании [59].

Обеспечение пожарной безопасности достигается: предотвращением образования горючей среды, предотвращением образования в горючей среде источника зажигания, правильной организацией объемов и размещения горючих веществ на площадке [60].

Для обеспечения противопожарной защиты необходимо предусматривать применение средств пожаротушения: воды, песка, специальной техники для пожаротушения.

## **8.6 Обеспечение безопасности в аварийных и чрезвычайных ситуациях**

Аварийные и чрезвычайные ситуации могут произойти на площадке по таким причинам, как: недостаточный контроль предельных концентраций вредных веществ в воздушной зоне; несоблюдение пожарной безопасности, например, несвоевременный вывоз складированного строительного мусора, применение неискробезопасного инструмента, неосторожное обращение с открытым огнем; неправильная работа со строительной техникой, небезопасная ее эксплуатация, невнимательность рабочих или оператора при выполняемых работах в зоне траншеи.

Чрезвычайными ситуациями, которые могут произойти при строительных работах, являются техногенные и антропогенные, как следствия деятельности людей на технологическом объекте. Поражающими факторами при этом являются: отравления вредными веществами, ожоги тела, травмы из-за падений человека или предметов. Данные факторы имеют разную степень тяжести последствий для человека, вплоть до летальных исходов.

Территория объекта относится ко второй группе по гражданской обороне. [61].

Непрерывных технологических процессов на объекте строительных работ

не предполагается.

На месте работ задействованы такие работники, как машинисты строительной техники, экскаваторов, бурильных машин, бульдозеров и их помощники; водители, осуществляющие подвоз строительных материалов; рабочие для монтажных изоляционных работ, общестроительных работ; сварщики для сварки стыков; члены инженерно-технических служб для обеспечения контроля условий и норм строительства в составе 5...7 человек. Сооружение объекта осуществляют несколько бригад, действуют бригада подготовительных работ, бригада погрузочных работ, транспорта, разработки траншеи, бригада рекультивационная, бригада проводящая изоляционные работы, засыпку траншеи, бригада очистки и испытания трубы, электрозщитных работ, бригады по сооружению переходов через водные преграды. Состав комплексной бригады 40...50 человек. Общая численность рабочих равна численности наибольшей работающей смены, без учета вахтового метода работы и смены работников, так как работы осуществляются в светлое время суток в одну смену, и составляет, с учетом инженерных работников, 45...55 человек.

На месте проведения работ необходимо обеспечивать людей необходимыми СИЗ, медицинскими средствами, связью для возможности информирования о ЧС и получения помощи.

Источником образования вторичных факторов поражения являются находящиеся в зоне строительных работ вдоль трассы трубопровода склады горючесмазочных легковоспламеняющихся материалов и материальный склад.

Работники на площадке обеспечены мобильными средствами связи с диспетчерским пунктом, руководством участка и цеха опасного объекта.

Электроснабжение осуществляется с помощью электрофикации района площадки, протягивания линий электропередачи вдоль трассы трубопровода с ближайших предприятий по выработке электричества, а также с помощью автономных генераторов на горючем топливе. Теплоснабжение осуществляется на месте площадки с помощью печей, тепловых пушек, для водоснабжения

организован подвоз воды.

В случае возникновения аварийной или чрезвычайной ситуации выполнение работ прекращается, проводится эвакуация в безопасную зону при необходимости. Далее производится ликвидация аварии, ее последствий, проводится техническое расследование для выявления причин.

## **8.7 Экологичность проекта**

Суть проекта заключается в выборе способа сооружения трубопровода и применения необходимой инженерной защиты для минимизации рисков его повреждения в сложных грунтовых условиях, и, как следствие, утечки газа из трубопровода. При этом учитывается место нахождения объекта исследования на территориях многолетнемерзлых грунтов, что подчеркивает необходимость сохранения уникальной местной флоры, фауны, природного ландшафта и атмосферного воздуха при строительстве и эксплуатации объекта.

При строительстве и эксплуатации сооружения для охраны окружающей среды проводятся мероприятия:

- рекультивация подвергнутых антропогенному влиянию участков земли;
- применяется современная строительная техника, с соответствием состава выхлопных газов экологическим нормам;
- применяются методы обнаружения утечек газа из магистральных трубопроводов для недопущения аварийной ситуации в виде пожаров и взрывов, оказывающих термическое влияние на среду и нарушающих целостность почвенно-растительного покрова;
- применяются элементы запорно-регулирующей арматуры для возможности локализации утечек транспортируемого продукта, уменьшая количество попавшего в среду транспортируемого газа.

## **9 Экономическая часть**

В рамках выполнения дипломного проекта для экономического обоснования выбора применяемого метода необходимо рассчитать и сравнить стоимость строительства участков магистрального газопровода в районах распространения многолетнемерзлых грунтов в двух разных видах прокладки – подземной и надземной с сопутствующими инженерными решениями по обеспечению их безопасной и безаварийной эксплуатации в виде промораживания грунта вокруг сваи термостабилизаторами при надземной прокладке и заменой грунта с применением пенополиуретановой теплоизоляции трубы при подземной.

### **9.1 Расчет стоимости строительства участка газопровода**

Сметная стоимость – сумма денежных средств, необходимых для осуществления строительства в соответствии с проектом. Сметная стоимость является основой для определения размера капитальных вложений, финансирования строительства, формирования договорных цен на строительную продукцию, расчетов за выполненные подрядные (строительно-монтажные, ремонтно-строительные) работы, оплаты расходов по приобретению оборудования и доставке его на стройки, а также возмещения других затрат за счет средств, предусмотренных сводным сметным расчетом.

На предпроектной стадии выполняют технико-экономическое обоснование целесообразности проектирования и сооружения объекта. Сметная стоимость сооружения определяется на основании расчета прямых затрат и накладных расходов.

Для расчета прямых затрат на строительно-монтажные работы необходимо определить объем работ и количество используемых материалов при подземной и надземной прокладке газопровода на участке многолетнемерзлого грунта протяженностью 1000 м. Путем перемножения



объема работ и количества материалов на их стоимость рассчитываются прямые затраты на строительство.

Сметная стоимость сооружения участка магистрального газопровода в районе области исследования, где распространены многолетнемерзлые грунты, рассчитывается ресурсно-индексным методом. Ресурсно-индексный метод состоит в перемножении базовых цен по состоянию на 01.01.2001 год на материалы и работы, содержащиеся в ТЕР «Территориальных единичных расценках» и ФЕР «Федеральных единичных расценках», на обновляемые на каждый квартал индексы изменения сметной стоимости для территорий производящихся работ [62, 63].

Значения индексов цен примем в соответствии с Приложением №2 Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 03.06.2021 №23038-ИФ/09 к Письму Минстроя России от 04.05.2021 № 18410-ИФ/09 «Об индексах изменения сметной стоимости строительства во II квартале 2021 года» [64]. Примем для расчета Ямало-Ненецкий округ, пятую ценовую зону (г. Надым, г. Новый Уренгой). Индекс на материалы равен 8,11; на оплату труда 54,93; на эксплуатацию машин 14,22.

Для уточненного района строительства единичные сметные расценки на материалы и оборудование с учетом доставки на второй квартал 2021 год приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Единичные расценки на материалы и оборудование

Наименование	Количество	Стоимость, руб
Песок строительный средней крупности	1 м <sup>3</sup>	798,35
Труба стальная	1 м	40053,34
Свая железобетонная	1 м <sup>3</sup>	14665,31
Материалы для буровзрывных работ	100 м <sup>3</sup>	12639,1

В материалах Министерства строительства не указаны термостабилизаторы, опоры надземного трубопровода и тепловая изоляция необходимых толщин. Определим их стоимость и стоимость доставки в район исследования.

Цена на один метр скорлупной теплоизоляции ППУ в оцинкованном покрытии для трубопровода диаметром 820 мм составляет 5410 рублей за толщину 70 мм, принятую для надземного газопровода согласно расчетов в настоящей работе и округленная в большую сторону в виду ограниченного ассортимента на рынке, и 7389 рублей за толщину 100 мм [65]. Теплоизоляция необходима на 1000 м трубы для подземной и надземной прокладки, стоимость соответственно равна 7389000 рублей и 5410000 рублей. Доставка теплоизоляции из Новосибирска в Новый Уренгой будет осуществляться железнодорожным транспортом компанией «Сервис Транс-Карго». Для расчета расходов на доставку воспользуемся тарифными расценкой доставки 20 р/кг с грузовой скоростью [66]. Для расчета доставки необходимо вычислить массу груза. Объем вычислим как объем цилиндра без учета объема трубы, плотность приведена на сайте завода-изготовителя 60 кг/м<sup>3</sup>. Объем теплоизоляции 100 мм на 1000 м трубы равен 288,86 м<sup>3</sup>, 70 мм равен 195,62 м<sup>3</sup>. Массы равны соответственно 17331,6 кг и 11737,2 кг. Стоимость доставки равна соответственно 346632 рубля и 234744 рубля. Цена покупки и доставки 7733632 рубля и 5644744 рубля соответственно.

Для определения стоимости доставки термостабилизаторов определим массу одного термостабилизатора равной 32 кг при массе погонного метра 2 кг [67], и принятой длине 16 м [25]. При применении двух стабилизаторов грунта на одну сваю согласно опыту применения на северных объектах [24], при двух сваях на каждую опору трубопровода принятых для расчета, и четырех сваях для двух неподвижных опор через каждые 500 м, общее количество термостабилизаторов будет равным 140 штук. Общий вес груза 4480 кг. Цена железнодорожной доставки, исходя из среднего тарифа «Сервис Транс-Карго» 20 р/кг с грузовой скоростью для доставки из западных городов России и

городов Уральского федерального округа в Новый Уренгой, равна 100800 рублей. Цена покупки одного термостабилизатора равна 18865,17 рублей согласно извещению о процедуре закупки ООО «РН-Ванкор» [68]. Общая цена покупки равна 2641123,8 рублей. Цена покупки и доставки равна 2741923,8 рублей.

Стоимость и масса опоры подвижной скользящей хомутовой опоры и неподвижной четырехопорной опоры для трубопровода диаметром 820 мм с теплоизоляцией была определена путем личного общения с представителем компании «ПСК Развитие» г. Красноярск [69]. Стоимость изготовления и массы данных опор приблизительно равны между собой и составляют 18000 р/шт и 100 кг/шт. Масса всех опор для 1 км надземной прокладки равна 3300 кг, общая стоимость 594000 рублей. Согласно тарифам компании «ЖелдорАльянс» [70] грузоперевозки Красноярск-Новосибирск обходятся 6,53 р/кг при массе груза больше 3000 кг. Далее отправку осуществляем по маршруту Новосибирск-Новый Уренгой, по тарифу 20 р/кг. Общая цена доставки до пункта назначения равна 87549 рублей. Цена покупки и доставки 681549 рублей.

Таблица 6 – Стоимость и доставка необходимого объема прочих материалов

Наименование	Стоимость изделий, руб.	Стоимость доставки, руб.	Общая стоимость, руб.
Теплоизоляция пенополиуретановая толщиной 70 мм	5410000,0	234744,0	5644744,0
Теплоизоляция пенополиуретановая толщиной 100 мм	7389000,0	346632,0	7733632,0
Термостабилизаторы	2641123,8	100800,0	2741923,8
Опоры надземного трубопровода	594000,0	87549,0	681549,0

Для выбранного района строительства единичные расценки на строительно-монтажные работы на второй квартал 2021 года представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Единичные расценки на строительно-монтажные работы

Наименование	Количество	Оплата труда рабочих, руб	Эксплуатация машин, руб	Оплата труда машинистов, руб	Общая стоимость, руб
Буровзрывные работы по рыхлению грунта	100 м <sup>3</sup>	8132,9	20137,5	18255,4	46525,8
Рытье и засыпка траншеи одноковшовым экскаватором на глубину 1,6 м	1 км	314317,7	790277,6	640554,1	1745149,4
Рытье и засыпка траншеи экскаватором на следующие 0,2 м	1 км	70975,1	143384,8	115505,7	329865,6
Монтаж теплоизоляции	1 м <sup>3</sup>	30840,9	832,3	-	31673,2
Полуавтоматическая сварка стыков	1 км	220546,7	1240524,9	130123,7	1591195,3
Ультразвуковой контроль сварных швов	1 шт	6251,6	323,5	-	6575,1
Укладка подземного трубопровода	1 км	1892294,6	1077230,9	797525,4	3767050,9

## Окончание таблицы 7

Наименование	Количество	Оплата труда рабочих, руб	Эксплуатация машин, руб	Оплата труда машинистов, руб	Общая стоимость, руб
Бурение скважины глубиной до 20 м	100 м	42868,5	283705,4	44621,3	371195,2
Установка свай до 2 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>	967,9	2737,6	814,6	4520,1
Монтаж свайных опор	100 м	557514,6	17246,1	12006,5	586767,2
Монтаж надземного трубопровода	100 м	232103,6	217128,6	159160,6	608392,8

### 9.1.1 Расчет сметной стоимости строительства участка подземного газопровода на многолетнемерзлых грунтах с осуществлением мероприятий по инженерной защите

Ниже в таблице 8 приведена сметная стоимость участка подземного газопровода в районах многолетнемерзлых грунтов длиной в 1000 м с инженерной защитой.

Таблица 8 – Сметная стоимость строительства участка

Материалы		
Наименование	Количество	Стоимость, руб.
Труба стальная	1000 м	40053340,0
Песок строительный	4243 м <sup>3</sup>	3387399,05
Материалы для буровзрывных работ	7358 м <sup>3</sup>	929984,9
Изоляция тепловая	288,86 м <sup>3</sup>	7623744,0
Итого		51994467,9

Продолжение таблицы 8

Строительно-монтажные работы					
Наименование	Количество		Стоимость, руб.		
			Оплата труда рабочим	Эксплуатация машин	Оплата труда машинистов
Буровзрывные работы по рыхлению грунта	7358 м <sup>3</sup>	597756,6	1481717,3	1343232,3	3422706,2
Рытье и засыпка траншеи одноковшовым экскаватором на глубину 1,6 м	1 км	314317,7	790277,6	640554,1	1745149,4
Рытье и засыпка траншеи экскаватором на следующие 1 м	1 км	354875,3	716924,1	577528,5	1649327,9
Монтаж теплоизоляции	288,86 м <sup>3</sup>	8908702,3	240418,2	-	9149120,6
Полуавтоматическая сварка стыков	1 км	220546,7	1240524,9	130123,7	1591195,3
Ультразвуковой контроль сварных швов	84 шт	525134,4	27174,0	-	552308,4
Укладка подземного трубопровода	1 км	1892294,6	1077230,9	797525,4	3767050,9
		12813627,6	5574267,0	3488964,6	21876858,7
Социальные отчисления					
Фонд оплаты труда	Размер, % от фонда оплаты труда		Сумма, руб		
16302592,2	30		4890777,7		

Окончание таблицы 8

Накладные расходы				
Сметная стоимость, руб	Размер, % от сметной стоимости		Сумма, руб	
73871326,6	15		11080699,0	
Итого				
Материалы, руб.	Эксплуатация машин и оборудования, руб.	Заработная плата, руб.	Социальные отчисления, руб.	Накладные расходы, руб.
51994467,9	5574267,0	16302592,2	4890777,7	11080699,0
Условная сметная стоимость, руб.		89842803,8		

На рисунке 13 представлена структура затрат на выполнение работ для подземного газопровода.



Рисунок 13 – Диаграмма распределения затрат

Наибольшую часть затрат составляют материалы и заработная плата, составляя 58 % и 18 % затрат соответственно.

### 9.1.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат на обслуживание подземного газопровода

Для определения годовой стоимости обслуживания газопровода произведем расчет заработной платы работников и затраты на операции по диагностике трубопровода. Для поддержания стабильной и бесперебойной работы участка длиной 1000 метров достаточно 10 человек в штате с учетом вахтового метода работы, их должности приведены в таблице 9.

Годовой фонд оплаты труда определен с использованием заработной платы по данным должностям в России, районный коэффициент и северная надбавка приведены для Ямало-Ненецкого автономного округа. Годовой фонд оплаты труда приведён в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет годового фонда оплаты труда обслуживающего персонала

Должность	Кол-во	Оклад, руб.	Районный коэф. 70 % от оклада, руб.	Северная надбавка 80% от оклада, руб.	Годовой фонд основной заработной платы, млн. руб.
Инженерно-технический работник	2	120000	84000	96000	3,60
Трубопроводчик линейный	4	60500	42350	48400	3,63
Сварщик	2	110000	77000	88000	3,30
Слесарь-ремонтник	2	100000	70000	80000	3,00
Итого:	10	-	-	-	13,53

Эксплуатация трубопровода требует регулярной диагностики, диагностику проводим два раза в год. Для диагностики мы используем датчик-определитель дефектов коммуникаций «ДОДК-100». Данный датчик, состоящий из двух электродов и усилителя, основанный на принципе определения разности потенциалов, предназначен для определения



повреждений изоляции, неисправностей систем антикоррозийной системы. Цена датчика равна 6000 руб [71].

Для осуществления диагностики необходимо использовать транспортное средство, чтобы добраться от рабочего цеха до трубопровода, расстояние примем 30 км.

Доставка рабочих производится вездеходом «УРАЛ-4320», расход топлива 32 л на 100 км, на 30 км необходимо 9,6 литров дизельного топлива; Затраты на доставку и обратно при цене дизельного топлива – 45,5 руб./л. равны 1742,2 руб.

Годовые эксплуатационные затраты на обслуживание трубопровода представим в таблице 10.

Таблица 10 – Годовые эксплуатационные затраты на обслуживание подземного трубопровода

Эксплуатационные затраты	Сумма, тыс. руб.
Фонд оплаты труда	13530,00
Отчисления от ФОТ (30%)	4059,00
Приборы для диагностики	6,00
Прочие	1,75
Итого эксплуатационные расходы	17596,8

### **9.1.3 Расчет сметной стоимости строительства участка надземного газопровода на многолетнемёрзлых грунтах с проведением мероприятий инженерной защиты**

Рассчитаем сметную стоимость участка надземного газопровода, проложенного в районах вечной мерзлоты длиной 1000 метров с учётом мероприятий инженерной защиты в виде охлаждения грунтов.

Для определения стоимости установки свай необходимо знать их объем. Диаметр одной сваи примем согласно опыту строительства северных сооружений [47] 426 мм. Поперечное сечение сваи равно 0,1425 м<sup>2</sup>. Объем сваи

примем по длине 14 метров, 1,99 м<sup>3</sup> составляет объем одной сваи. Необходимое количество свай равно 70 штук. Объем всех необходимых свай составляет 139,3 м<sup>3</sup>.

Таблица 11 – Сметная стоимость строительства участка надземного газопровода

Материалы					
Наименование		Количество		Стоимость, руб.	
Труба стальная		1000 м		40053340,0	
Опора надземного трубопровода		33 шт.		681549,0	
Свая железобетонная		70 шт.		2042876,8	
Теплоизоляция ППУ		195,6 м <sup>3</sup>		5644744,0	
Термостабилизатор		140 шт.		2741923,8	
Итого				51164433,6	
Строительно-монтажные работы					
Наименование	Количество	Стоимость, руб.			
		Оплата труда рабочим	Эксплуатация машин	Оплата труда машинистов	Общая стоимость
Бурение скважины	70 шт.	420111,3	2780312,9	437288,7	3637712,9
Установка свай	139,3 м <sup>3</sup>	134828,5	381347,7	113473,8	629649,9
Сварка стыков	1 км	220546,7	1240524,9	130123,7	1591195,3
Ультразвуковой контроль сварных швов	84 шт.	525134,4	27174,0	-	552308,4
Монтаж теплоизоляции	195,6 м <sup>3</sup>	6033096,9	162797,9	-	6195894,8
Монтаж свайных опор	1 км	5575146,0	172461,0	120065,0	5867672,0

## Окончание таблицы 11

Строительно-монтажные работы					
Наименование	Количество	Стоимость, руб.			
		Оплата труда рабочим	Эксплуатация машин	Оплата труда машинистов	Общая стоимость
Монтаж надземного трубопровода	1 км	2321036,0	2171286,0	1591606,0	6083928,0
		15229899,8	6935904,4	2392557,2	24558361,4
Социальные отчисления					
Фонд оплаты труда		Размер, % от фонда оплаты труда		Сумма, руб	
17622457,0		30		5286737,1	
Накладные расходы					
Сметная стоимость, руб		Размер, % от сметной стоимости		Сумма, руб	
75722795,0		15		11358419,3	
Итого					
Материалы, руб.	Эксплуатация машин и об-я, руб.	Заработная плата, руб.	Социальные отчисления, руб.	Накладные расходы, руб.	
51164433,6	6935904,4	17622457,0	5286737,1	11358419,3	
Условная сметная стоимость, руб.				92367951,4	

Структура затрат на выполнение работ для газопровода надземной прокладки представлена на рисунке 14.

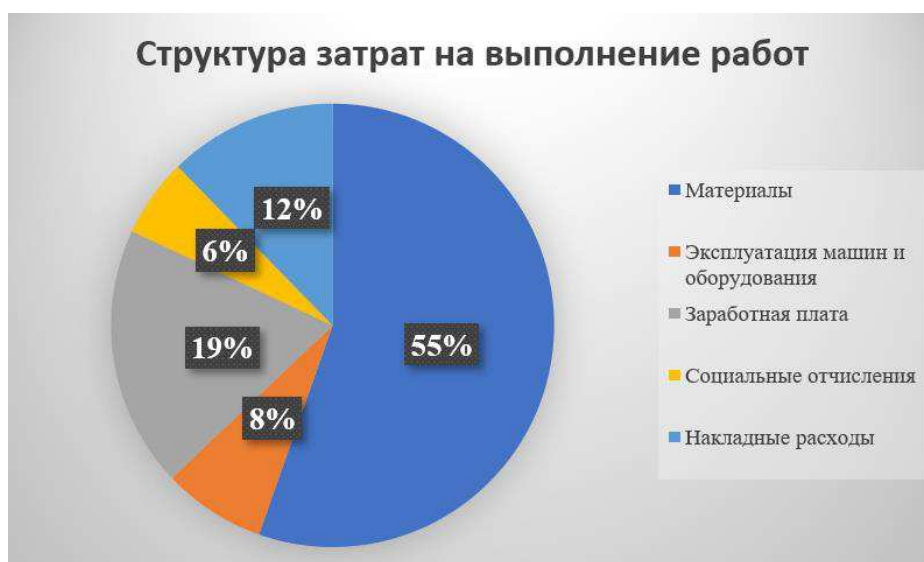


Рисунок 14 – Структура затрат на выполнение работ

Наибольшую часть затрат составляют материалы и заработная плата, составляя 55 % и 19 % затрат соответственно.

#### 9.1.4 Расчет годовых эксплуатационных затрат на обслуживание надземного газопровода

При надземной прокладке годовые эксплуатационные затраты на обслуживание газопровода равны затратам при подземной прокладке за исключением амортизационных отчислений по термостабилизаторам. Определим амортизационные отчисления по оборудованию в таблице 12.

Таблица 12 - Расчет годовых амортизационных отчислений по оборудованию

№ п/п	Наименование	Стоимость без НДС, тыс. руб.	Срок эксплуатации, лет	Годовая норма амортизации, %	Сумма амортизационных отчислений, тыс. руб.
1	Термостабилизатор	2200,94	20	5	110,05

Добавим статью амортизационных отчислений и рассчитаем годовые эксплуатационные затраты, результаты представим в таблице 13.

Таблица 13 – Годовые эксплуатационные затраты на обслуживание надземного трубопровода

Эксплуатационные затраты	Сумма, тыс. руб.
Фонд оплаты труда	13530,00
Отчисления от ФОТ (30%)	4059,00
Амортизационные отчисления	110,05
Приборы для диагностики	6,00
Прочие	1,75
Итого эксплуатационные расходы	17706,80

## 9.2 Сравнение экономических показателей двух типов прокладки трубопровода

Для наглядности сравнения представим графики затрат на сооружение и годовую эксплуатацию трубопровода при различных схемах прокладки (рис. 15).

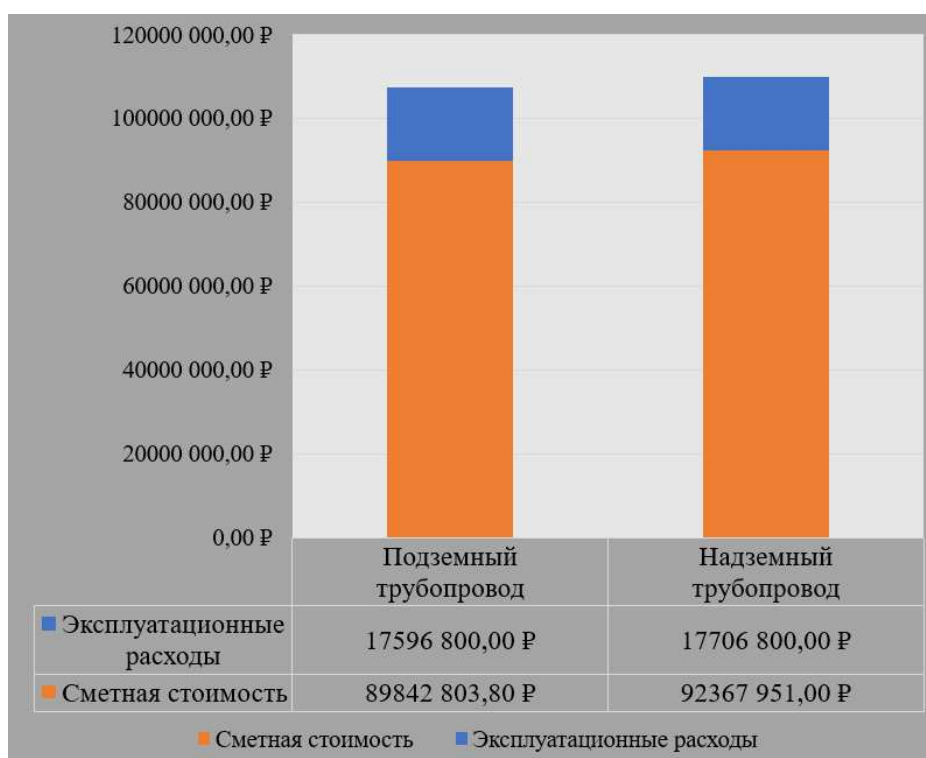


Рисунок 15 – Сравнение затрат на сооружение и годовую эксплуатацию трубопровода при различных схемах прокладки

Исходя из полученных данных следует вывод, что подземная схема прокладки газопровода выгоднее, чем надземная. Однако величина выгоды небольшая, особенно учитывая более высокую аварийность подземной прокладки трубопровода и обширное нарушение целостности многолетнемерзлых грунтов в процессе строительства. Надземная схема прокладки также имеет минусы в виде препятствии миграции животных, помех движению транспортных средств, поэтому для каждого отдельного случая необходимо выполнять технико-экономический расчет с учетом особенностей грунтовых условий трассы, а также прогнозирования рисков аварий и числа отказов трубопровода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе были рассмотрены основные геолого-климатические характеристики Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. В ходе рассмотрения процесса морозного пучения были выявлены причины морозного пучения и его действие на трубопровод. Были выявлены характерные повреждения магистральных трубопроводов под действием процесса пучения. Был проведен анализ общих методов защиты от морозного пучения и возможности их применения в трубопроводном транспорте. После проведения анализа возможных методов защиты, было рассмотрено два варианта для решения проблемы повреждения магистральных трубопроводов морозным пучением:

1) надземная прокладка для минимизации теплообмена трубы с грунтом и термостабилизация многолетнемерзлого грунта для предотвращения процессов оттаивания и промерзания грунта с началом процессов осадки/пучения свай;

2) комбинация теплоизоляции трубопровода для ограничения зоны промерзания и пучения, и грунтовой обсыпки и подушки для снижения касательных и нормальных сил пучения, благодаря непучинистым свойствам заменяемого грунта.

Была подобрана для применения пенополиуретановая теплоизоляция в комбинации с грунтом для замены в виде среднезернистого песка, в качестве альтернативы была принята надземная прокладка трубопровода, для предотвращения процесса выпучивания свай в процессе промерзания оттаявшего грунта при надземной прокладке приняты сезонно-действующие охлаждающие устройства. В ходе экономического сравнения, с учетом сметной и эксплуатационной стоимости, выявлено, что подземная схема прокладки с применением теплоизоляции и заменой грунта основания выгоднее, чем надземная схема прокладки с применением термостабилизации грунта. Однако для каждого случая проектирования и сооружения трубопровода в многолетнемерзлых грунтах необходимы инженерно-геологические изыскания

и технико-экономические расчеты по определению схемы прокладки и виду защиты, учитывая преимущества и недостатки способов и различные условия эксплуатации.

С учетом прогнозируемых климатических трендов следует ожидать ухудшения геокриологической обстановки в связи с оттаиванием мерзлых грунтов, увеличением площади обводненных и заболоченных территорий на севере Западной Сибири в ближайшие 20...30 лет. Это приведет к увеличению количества повреждений трубопроводов от воздействия морозного пучения. Сложность своевременной диагностики морозного пучения на подземных трубопроводах приведет к увеличению количества аварий, что нанесет существенный урон экономике и экологии региона. Поэтому обеспечение инженерной защиты трубопроводов в условиях пучинистых грунтов останется актуальной задачей в ближайшие десятилетия.



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- МТ – магистральный трубопровод;
- МГ – магистральный газопровод;
- СОУ – сезонно-действующее охлаждающее устройство;
- КРН – коррозионное растрескивание под напряжением;
- ЭХЗ – электрохимическая защита;
- АСУ – автоматизированная система управления;
- ППУ – пенополиуретановая теплоизоляция;
- ЭППС – экструзионный пенополистирол;
- ММГ – многолетнемерзлые грунты;
- ММП – многолетнемерзлые породы;
- ПДК – предельно допустимая концентрация;
- СИЗ – средства индивидуальной защиты;
- УГВ – уровень грунтовых вод.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Марков, Е. В. Обеспечение проектного положения магистральных трубопроводов в условиях пучинистых грунтов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Марков Евгений Викторович. – Тюмень, 2020. – 133 с.

2 Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция [Электронный ресурс] // Горная энциклопедия. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/z/zapadno-sibirskaya-neftegazonosnaya-provinciya/>

3 Решетько, М. В. Климатические особенности и статистические оценки изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории севера Западной Сибири / М. В. Решетько, Ю. А. Моисеева // Известия Томского политехнического университета. – 2016. № 4 . – С. 108–118.

4 Глубина закладки канализационных труб [Электронный ресурс] // Быстровозводимые здания – строительный портал. – Режим доступа: <https://fastbuildings.ru/kommunikacii/kanalizaciya/pravilnyu-montazh-kanalizatsii-vnutri-chastnogo-doma-snaruzhi.html>

5 Киселев, М. Ф. Предупреждение деформации грунтов от морозного пучения / М. Ф. Киселев. – Ленинград : Стройиздат, 1985. – 131 с.

6 Давыдов, В.А. Особенности изысканий и проектирования автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты : нормативно-производственное издание / В.А. Давыдов. – Омск : СибАДИ, 1979. – 18 с.

7 Втюрина, Е.А. Рекомендации по методике регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и развития термокарста при освоении Западной Сибири : нормативно-производственное издание / Е.А. Втюрина, В.П. Чернядьев, С.Ю. Памузин, И.И. Шаманова. – Москва : Стройиздат, 1988. – 72 с.

8 СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – Введ. 01.01.2013. – Москва : Минрегион России, 2012. – 117 с.

9 Мудров, Ю. В. Криотурбации [Электронный ресурс] / Ю. В. Мудров // Большая российская энциклопедия. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/geology/text/2112405>

10 Гулин, Д. А. Воздействие морозного пучения на линейную часть магистральных трубопроводов / Д. А. Гулин, Э. В. Файзулин, Э. И. Шарипова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – № 4. – С. 42–48.

11 Орлов, В. О. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов: нормативно-производственное издание ; В. О. Орлов. – Москва : Стройиздат, 1986. – 72 с.

12 Аналитический отчет // Аналитика и исследования ассоциации «Новые технологии газовой отрасли» / ПАО «Газпром». – Выпуск № 3.1. – Москва, 2017. – 12 с.

13 Гаррис, Н. А. Третий принцип использования мерзлых грунтов в качестве основания трубопроводов / Н. А. Гаррис, Э. А. Закирова // Территория нефтегаз. – 2017. – № 5. – С. 70–76.

14 Марков, Е. В. Численное исследование методов инженерной защиты подземных трубопроводов от силового воздействия на них пучинистых грунтов / Е. В. Марков, С.А. Пульников // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 88–93.

15 Сильвестров, А. С. Термоциклические процессы как причина КРН на магистральных газопроводах / А. С. Сильвестров, В. А. Булкин, А. Д. Анваров // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. № 18 . – С. 168–173.

16 СН 510 – 78 Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов. – Введ. 01.01.1980. – Москва : Стройиздат, 1979. – 69 с.

17 Скворцов, Д. С. Способы борьбы с морозным пучением сезоннопромерзающих грунтов в основаниях фундаментов зданий и сооружений / Д. С. Скворцов, А. Н. Краев, А.Н. Краев, Е. А. Жайсамбаев // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 5. – С. 68–80.

18 Калабухова, И. А. Исследование причин пучинистости грунтов с анализом проведенных исследований / И. А. Кулабухова, Б. М. Черепанов // Ползуновский альманах. – 2016. – № 3. – С. 110–113.

19 Дренаж и водопонижение [Электронный ресурс] // Хоумстрой – торгово-производственная компания . – Режим доступа: <https://www.houmstroj.ru/stroitelnye-uslugi/drennaj-i-vodoponijenie>

20 Марков, Е. В. Оптимизация электрообогрева грунтов для защиты подземных трубопроводов от морозного пучения / Е. В. Марков, С.А. Пульников // Газовая промышленность. – 2018. – № 11. – С. 32–40.

21 Промышленный обогрев протяженных трубопроводов с помощью СКИН-систем [Электронный ресурс] : информационно-аналитический портал Neftegaz.RU . – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/analysis/equipment/329373-promyshlennyy-obogrev-protyazhennykh-truboprovodov-s-pomoshchyu-skin-sistem/>

22 Лисин, Ю. В. Технические решения по способам прокладки нефтепровода Заполярье – НПС «Пурпе» / Ю. В. Лисин, А. Е. Сощенко, В. И. Суриков, В. В. Павлов, А. Е. Сощенко, М. Ю. Зотов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – №1. – С. 24–28.

23 Щербич, Ю. В. Разработка методики поддержания необходимых температурных показателей для обеспечения устойчивого состояния магистрального нефтепровода «Заполярье – НПС «Пурпе» на участках надземной прокладки при его эксплуатации в условиях Крайнего Севера / Ю. В. Щербич // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014, № 2. – С. 290–293.

24 Проверены Севером // ПАО «Транснефть» [сайт]. – Режим доступа: <https://www.transneft.ru/pressroom/rg7-7/>

25 Системы температурной стабилизации вечномерзлых грунтов : журнал технических решений // ООО «Фундаментстройаркос» [сайт]. – Режим доступа: [https://www.npofsa.ru/sites/default/files/sistemy\\_temperaturnoy\\_stabilizacii\\_vechno\\_merzlyh.pdf](https://www.npofsa.ru/sites/default/files/sistemy_temperaturnoy_stabilizacii_vechno_merzlyh.pdf)

26 СП 410.1325800.2018 Трубопроводы магистральные и промышленные для нефти и газа. Строительство в условиях вечной мерзлоты и контроль выполнения работ. – Введ. 03.01.2019. – Москва : Минстрой России, 2018. – 28 с.

27 СП 86.13330.2014 Магистральные трубопроводы. – Взамен СП 86.13330.2012 ; введ. 01.06.2014. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 192 с.

28 Общие технические требования ОТТ-25.220.60-КТН-103 – 15 [Электронный ресурс] : магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Заводское полиэтиленовое покрытие труб. // ООО «НИИ Транснефть». – Режим доступа: [https://niitn.transneft.ru/u/ovp\\_main\\_pdf\\_file/2541/ott-25.220.60-ktn-103-15\\_sr.pdf](https://niitn.transneft.ru/u/ovp_main_pdf_file/2541/ott-25.220.60-ktn-103-15_sr.pdf)

29 Балбачан, И. П. Руководство по применению буро-взрывного способа рыхления мерзлых и вечно мерзлых грунтов и морен : нормативно-производственное издание ; И. П. Балбачан, Ю.А. Иванов, А.А. Юрко. – Москва : Стройиздат, 1972. – 25 с.

30 Барышников, А. А. Земляные работы в зимних условиях [Электронный ресурс] / А. А. Барышников, А. А. Шадрина // Региональное развитие. – 2015. № 8. – Режим доступа : <https://regrazvitie.ru/zemlyanye-raboty-vzimnih-usloviyah/>

31 СП 284.1325800.2016 Трубопроводы промышленные для нефти и газа. Правила проектирования и производства работ. – Введ. 16.06.2017. – Москва : Стандартинформ , 2017. – 199 с.

32 Таргулян, Ю. О. Руководство по устройству свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах : нормативно-производственное издание ; Ю.О. Таргулян, Д.П. Высоцкий, В.С. Неклюдоный, Д. М. Федорович. – Москва : НИИОСП, 1985. – 40 с.

33 Свайные работы // ООО «СтройБурКом» – свайные и буровые работы любой сложности [сайт]. – Режим доступа : <https://stroyburkom.ru/docs/tehnologija-svajnyh-rabot.pdf>

34 Опалихина, А. А. Свайные фундаменты на винтовых сваях в условиях Крайнего Севера / А. А. Опалихина // Инновационная наука. – 2018. – № 6. – С. 31–34.

35 Аксенов, В.И. Работа винтовых свай в мерзлых грунтах [Электронный ресурс] / В.И Аксенов, С. Г. Геворкян, А. В. Иоспа, Д. Н. Кривов, И. В. Шмелев // Электронное научное издание «Альманах пространство и время». – Режим доступа: <2227-9490e-aprov\_r\_e-ast11-1.2016.73>

36 Термостабилизаторы грунта (ССГ, ТСГ, ТС, ТК) // ООО «Политехнол» – конструкции и материалы для строительства и ремонта трубопровода [сайт]. – Режим доступа: <https://www.polytechnol.ru/catalog/termostabilizatory-grunta-tsg/>

37 Общие технические требования ОТТ-23.040.00-КТН-0235-20 [Электронный ресурс] : магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Термостабилизаторы грунтов сезоннодействующие индивидуальные. // ООО «НИИ Транснефть». – Режим доступа: [https://niitn.transneft.ru/u/ovp\\_main\\_pdf\\_file/6561/ott-23.040.00-ktn-0235-20\\_sr.pdf](https://niitn.transneft.ru/u/ovp_main_pdf_file/6561/ott-23.040.00-ktn-0235-20_sr.pdf)

38 Евдокимов, В. С. Экспериментальное исследование характеристик термосвай / В. С Евдокимов, Г. И. Чернов, А. А. Гладенко, А. А. Исаев // Омский научный вестник. – 2020. – №3. – С. 56–62.

39 Опоры трубопроводов // Универсальный поставщик металлопроката и труб «Металл-Энергия» [сайт]. – Режим доступа: <https://www.metall-energy.ru/opory-truboprovodov.htm>

40 ГОСТ Р 51164 – 98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. – Введ. 07.01.1999. – Москва : Издательство стандартов, 1998. – 45 с.

41 Петров, И. П. Надземная прокладка трубопроводов : учебное пособие / И. П., В.В. Спиридонов. – Москва : Недра, 1965. – 443 с.

42 Особенности легирования стали [Электронный ресурс] // Промышленный портал PromZn.ru. – Режим доступа: <https://promzn.ru/obrabotka-metalla/legirovanie-stali.html>

43 Технические условия ТУ 14-3Р-1270 – 2009 [Электронный ресурс] Трубы стальные электросварные прямошовные диаметром 530, 720, 820 мм для магистральных газонефтепроводов. // ООО «ГазпромВниигаз». – Режим доступа: [http://23met.ru/gost\\_files/ty-14-3r-1270-2009.pdf](http://23met.ru/gost_files/ty-14-3r-1270-2009.pdf)

44 СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85. – Введ. 01.07.2013. – Москва : ФАУ «ФЦС» , 2012. – 22 с.

45 ГОСТ 10704 – 91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – Введ. 01.01.1993. – Москва : Стандартиформ, 2007. – 20 с.

46 Расстояние между опорами при их установке // ООО «ЛЗМ» [сайт]. – Режим доступа: [https://oporamet.ru/articles/rasstoyanie\\_mezhdu\\_oporami\\_pr\\_ih\\_us\\_tanovke](https://oporamet.ru/articles/rasstoyanie_mezhdu_oporami_pr_ih_us_tanovke)

47 Лисин, Ю. В. Создание и реализация инновационных технологий строительства в проектах развития нефтепроводной структуры Западной Сибири / Ю. В. Лисин, А. Н. Сапсай, В. И. Суриков, В. В. Павлов, А. Е. Сощенко, В. В. Бондаренко // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – №4. – С. 6–11.

48 СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. – Введ. 01.01.2013. – Москва : Минрегион России, 2011. – 52 с.

49 СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – Введ. 29.05.2019. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 114 с.

50 ГОСТ 12.0.003 – 2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Введ. 01.03.2017. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 23 с.

51 Мусияченко, Е.В. Безопасность жизнедеятельности : учеб.-метод. пособие для выполнения раздела «Безопасность и экологичность» выпускной квалификационной работы [Электронный ресурс] / сост. Е. В. Мусияченко, А. Н. Минкин. – Электрон. дан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016.

52 МР 2.2.7.2129 – 06 Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Введ. 01.11.2006. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 20 с.

53 ГОСТ Р 55709 – 2013 Освещение рабочих мест вне зданий. Нормы и методы измерений (Переиздание). Введ. 01.07.2014. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 12 с.

54 ГОСТ 26568 – 85 Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация. Введ. 26.06.1985. – Москва : Издательство стандартов, 1985. – 17 с.

55 СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1). Введ. 20.05.2011. – Москва : Минрегион России, 2010. – 41 с.

56 ГОСТ 12.1.005 – 88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Введ. 01.01.1989. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 50 с.

57 ГОСТ 12.4.011 – 89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. Введ. 01.07.1990. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 8 с.

58 ГОСТ 19433 – 88 Грузы опасные. Классификация и маркировка. – Введ. 01.01.1990. – Москва : Министерство морского флота и Министерство путей сообщений СССР, 1990. – 68 с.

59 СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Введ. 01.05.2009. – Москва : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 31 с.

60 ГОСТ 12.1.004 – 91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). Введ. 01.07.1992. – Москва : Стандартиформ, 2006. – 68 с.



61 Постановление Правительства РФ от 03.10.1998 № 1149 «О порядке отнесения территорий к группам по гражданской обороне» (с изменением на 12.08.2017) // Собрание законодательства РФ. – 12.10.1998. – № 41. – Ст. 5024.

62 Ямало-Ненецкий округ [Электронный ресурс] : территориальные единичные расценки // Минстрой России. Режим доступа : <https://minstroyrf.gov.ru/trades/view.territorial.php>

63 Федеральные единичные расценки [Электронный ресурс] // Минстрой России. – Режим доступа : <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/view.fer-2020.php>

64 Индексы Минстроя РФ на 2 квартал 2021 года к ТЕР/ФЕР [Электронный ресурс] // ООО «Айтат». – Режим доступа : <https://www.i-tat.ru/base/286.html>

65 Скорлупа ППУ в покрытии оцинкованная сталь 820 мм : каталог товаров // ООО «Теплосервис-Сибирь» – поставщик строительных материалов и санитарно-технического оборудования [сайт]. – Режим доступа : <https://tssib.ru/trubnayaizolyatsiya/skorlupappu/skorlupappuotsinkovannaya/skorlupa-ppu-v-pokrytii-otsinkovannaya-stal-820-mm/>

66 Железнодорожные перевозки Новосибирск – Новый Уренгой : тарифы // ООО «Сервис Транс-Карго» – услуги перевозки и хранения грузов [сайт]. Режим доступа : [https://strans.ru/zhd-perevozki-novosibirsk-novyuu\\_urengoy](https://strans.ru/zhd-perevozki-novosibirsk-novyuu_urengoy)

67 Термостабилизаторы малого диаметра // ООО «Интер Хит Пайп» [сайт]. – Режим доступа: [http://iheatpipe.ru/pub\\_tmd.html](http://iheatpipe.ru/pub_tmd.html)

68 Извещение о процедуре РН10500548 [Электронный ресурс]: Ванкорское месторождение – НПС Пурпе. Термостабилизация грунтов и геотехнический мониторинг на участках № 1 (км 265,4 – км 287,76) и № 3 (км 330,36 – км 343,94) // АО «ТЭК-Торг» – федеральная торговая площадка. – Режим доступа : <https://www.tektorg.ru/rosneft/procedures/706640>

69 Подвижные опоры для труб // Завод металлоконструкций в Красноярске ООО «ПСК Развитие» [сайт]. – Режим доступа : <https://www.psk124.ru/services/metallokonstrukcii/podvizhnye-opory-truboprovoda/>

70 Грузоперевозки Красноярск – Новосибирск : тарифы // ЗАО «Желдоральянс» – грузоперевозки по всей России [сайт]. – Режим доступа : <https://zhdalians.ru/branches/krasnoyarsk/novosibirsk/>

71 Датчик определитель дефектов коммуникаций ДОДК-100 и ДОДК-117 : каталог товаров // ООО «АНК» – приборы и оборудование для неразрушающего контроля, дефектоскопии и технической диагностики. – Режим доступа: <https://krasnoyarsk.ank-ndt.ru/>

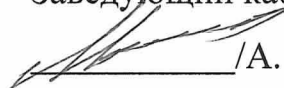
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра проектирования и эксплуатации газонефтепроводов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 /А. Н. Сокольников

«21» июня 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием  
грунта

Руководитель

 15.06.21

доцент, канд. техн. наук О.Н. Петров

Выпускник

 - 14.06.21

А.Е. Шиколов

Красноярск 2021

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме: «Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта»

Консультанты по  
разделам:

Экономическая часть



И. В. Шадрина

Безопасность жизнедеятельности



Е. В. Мусияченко

Нормоконтролер



О. Н. Петров

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Методы защиты магистральных трубопроводов от повреждений выпучиванием грунта» содержит 98 страниц текстового документа, 71 использованный источник, 15 рисунков, 13 таблиц, 6 листов графического материала.

МАГИСТРАЛЬНЫЙ ТРУБОПРОВОД, МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЙ ГРУНТ, МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ, ПОВРЕЖДЕНИЕ ПУЧЕНИЕМ.

Объект исследования выпускной квалификационной работы: магистральный трубопровод.

Цель ВКР: подобрать технически и экономически обоснованный и эффективный способ предупреждения повреждений магистральных трубопроводов от морозного пучения.

Задачи ВКР:

- изучить геолого-климатическую характеристику района исследования;
- выявить причины морозного пучения и определить виды повреждений трубопроводов, вызванных этим явлением;
- рассмотреть методы, применяемые для борьбы с морозным пучением;
- сформулировать техническое предложение, технически и экономически обосновать его.

В ходе работы были выявлены основные причины морозного пучения, характерные повреждения трубопроводов, выполнен сравнительный анализ методов борьбы с морозным пучением. В результате анализа сформулировано техническое предложение по защите трубопроводов от повреждений пучением, выполнен расчет основных параметров защиты и выполнено экономическое сравнение.