

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ  
СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»**

*На правах рукописи*



**МАЙНЫ Шончалай Борисовна**

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОКЛАДКИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ  
В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ  
(на примере Республики Тыва)**

Специальность 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы  
охраны водных ресурсов

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Заслуженный строитель РФ,  
доктор технических наук,  
профессор  
ТЕРЕХОВ Лев Дмитриевич

Санкт-Петербург – 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В РАЙОНАХ ГЛУБОКОГО СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ .....	11
1.1 Опыт строительства и эксплуатации канализационных сетей в различных регионах Российской Федерации .....	11
1.2 Особенности природно-климатических условий г. Кызыл, влияющие на устройство канализационных трубопроводов.....	21
1.3 Характеристика существующей системы канализации г. Кызыл.....	23
1.4 Анализ состояния и аварийности канализационных трубопроводов в г. Кызыл.....	27
1.4.1 Глубина сезонного промерзания грунтов в Республике Тыва .....	27
1.4.2 Аварийность канализационных трубопроводов .....	31
1.4.3 Типы прокладок трубопроводов.....	37
1.4.4 Материалы трубопроводов.....	40
Выводы по первой главе.....	41
2 НАТУРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ .....	43
2.1 Натурные исследования изменения температуры сточной воды на канализационных выпусках в течение суток .....	43
2.1.1 Описание объекта исследования .....	44
2.1.2 Контрольно-измерительные приборы.....	45
2.1.3 Методика проведения эксперимента и результаты исследований.....	46
2.2 Натурные исследования изменения температуры сточной воды на канализационных выпусках для зданий с разной этажностью .....	49
в зимний период .....	49
2.3 Натурные исследования теплового режима на действующих системах канализации г. Кызыл в зимнее время .....	56
2.4 Экспериментальные исследования динамики изменения талика вокруг канализационных трубопроводов в лабораторных условиях.....	63
2.4.1 Обоснование выбора вида грунта для проведения эксперимента .....	64
2.4.2 Экспериментальная установка.....	65
2.4.3 Планирование и методика проведения эксперимента.....	67
2.4.4 Результаты экспериментальных исследований и их анализ .....	69
2.5 Определение размера талика по методике профессора Г. В. Порхаева .....	72
2.5.1 Результаты расчётов определения размера талика по методике профессора Г. В. Порхаева .....	74
2.6 Сравнение результатов экспериментальных исследований и аналитического расчёта по методике профессора Г.В. Порхаева.....	75
Выводы по второй главе .....	76

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....	78
3.1 Обоснование определения минимальной глубины заложения начального участка трубопровода .....	78
3.2 Определение минимальной глубины заложения начального участка трубопровода по методике профессора Г. В. Порхаева .....	81
3.3 Описание программы для ЭВМ по определению глубины заложения канализационного трубопровода в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.....	90
Выводы по третьей главе.....	92
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОКЛАДКИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЗА СЧЁТ УМЕНЬШЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ.....	93
4.1 Общие положения .....	93
4.2 Методы оценки эффективности прокладки канализационных трубопроводов инвестиционных проектов.....	95
4.2.1 Метод расчёта чистого приведенного эффекта.....	96
4.2.2 Метод расчёта индекса рентабельности инвестиции .....	97
4.2.3 Метод определения срока окупаемости инвестиций.....	97
4.2.4 Метод расчёта коэффициента эффективности инвестиции.....	98
4.3 Экономический эффект от уменьшения глубины заложения канализационных трубопроводов .....	99
Выводы по четвертой главе.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	114
Приложение А – Акт о внедрении диссертационной работы.....	129
Приложение Б – Акт о внедрении диссертационной работы .....	130
Приложение В – Акт о внедрении диссертационной работы .....	131
Приложение Г – Акт о внедрении диссертационной работы .....	132
Приложение Д – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ .....	133

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Более 60 % территорий Российской Федерации характеризуются суровыми природно-климатическими условиями, холодными зимами продолжительностью до 7–8 месяцев. К этим территориям относится и Республика Тыва, расположенная на юге Восточной Сибири. В настоящее время на территории республики проживает более 310 тысяч человек, столицей является г. Кызыл. Республика располагает богатейшими запасами полезных ископаемых, энергетическими ресурсами и представляет огромный интерес для развития промышленного потенциала страны. Развитие промышленности республики связано с созданием производственных комплексов, населенных мест и современных бытовых условий для ее населения. Однако, интенсивное освоение ресурсов республики затруднено в связи с суровыми климатическими условиями, в частности с глубоким сезонным промерзанием грунтов, осложняющим решение инженерных задач при строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.

Глубокое сезонное промерзание грунта, составляющее в Республике Тыва 3,2 м, удорожает проектирование и эксплуатацию канализационных сетей, которые прокладываются на глубине до 6 м и более.

Канализационные трубопроводы являются одним из основных элементов системы водоотведения, определяющих ее надёжность и экономичность. По капитальным затратам на канализационные трубопроводы приходится более 50% сметной стоимости всей системы водоотведения. Значительная доля затрат идет на их эксплуатацию. В практике эксплуатации установлено, что нарушение надежной работы водоотводящих систем связано, в основном, с авариями. Ликвидация аварий при низких температурах воздуха от – 25 °С до –54 °С значительно затягивается, требуется дорогостоящая мощная землеройная техника при выполнении трудоемких земляных работ на мёрзлых грунтах, что в ряде случаев технически невыполнимо.

Снизить строительные расходы и затраты на эксплуатацию канализационной сети можно за счёт уменьшения глубины заложения трубопроводов. Для этого в первую очередь нужно уменьшить глубину заложения трубы на начальном участке, которым является канализационный выпуск из здания. В этом случае определяющим фактором является назначение минимальной глубины заложения канализационного выпуска из здания, который является начальным участком. Уменьшение глубины на начальном участке подразумевает автоматическое снижение глубины заложения на всех последующих участках канализационной сети. Снижение глубины заложения канализационных выпусков из зданий при сохранении надёжности работы в эксплуатационном режиме и обеспечении незамерзаемости в возможных аварийных ситуациях является **актуальной задачей**. Мелкое заложение трубопроводов имеет ряд технических и экономических преимуществ: повышение безопасности труда при строительстве, уменьшение трудоёмкости ремонтных и восстановительных работ, быстрое обнаружение и устранение аварий, сокращение сроков и строительной стоимости за счёт уменьшения объёма земляных работ.

**Степень разработанности темы исследования.** Теоретической основой диссертационного исследования являются работы российских учёных Г. В. Порхаева, С. Н. Аронова, М. М. Андрияшева, П. А. Богословского, В. П. Стеганцева, В. И. Карпова, И. И. Золотова, Л. П. Семенова, Б. Л. Кривошеина, А. Л. Ястребова, А. А. Коновалова, Н. Ф. Федорова, А. В. Лютова, В. Ф. Кардымон, О. В. Заборщикова, Н. П. Заборщиковой, Л. Д. Терехова, М. Ю. Юдина, М. И. Алексеева, Ю. А. Феофанова, А. И. Матюшенко, О. В. Акимова, А. В. Гинзбурга, Д. И. Шлычкова и других, посвященные вопросам прокладки трубопроводов в суровых климатических условиях. Из зарубежных исследований следует отметить работы, выполненные К. Koch, G. S. N. Lock., R. Gilpin, T. Hirata, S. V. Thomason, Y. Horiuchi и др.

Однако, в связи с недостаточной изученностью данной темы и отсутствием методик теплотехнического расчёта по прокладке канализационных сетей в зоне

сезонного промерзания грунта необходимо дальнейшее изучение данной проблемы, что делает тему исследования актуальной.

**Цель исследования:** повышение технико-экономической эффективности и надёжности проектирования, строительства и эксплуатации канализационных трубопроводов за счёт обоснованного уменьшения глубины их заложения в суровых климатических условиях.

**Задачи исследования:**

– провести обзор и анализ опыта проектирования и эксплуатации канализационных трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов в различных регионах Российской Федерации;

– выполнить в зимний период натурные исследования теплового режима канализационного выпуска и по длине действующей канализационной сети, включая дворовый и уличный участки;

– выполнить экспериментальные исследования оттаивания мёрзлого грунта вокруг трубопровода для определения размеров талой зоны при пропуске по трубопроводу воды с разной температурой и с различной степенью заполнения водой;

– получить экспериментальные зависимости для определения новых параметров, регламентирующие действия службы эксплуатации при возникновении аварий на канализационных трубопроводах;

– разработать методику и программу для ЭВМ по расчёту минимальной глубины заложения на начальном участке канализационных трубопроводов, обеспечивающей бесперебойную работу системы водоотведения;

– определить экономическую эффективность прокладки канализационных трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов за счёт уменьшения глубины заложения.

**Объект исследования** – канализационные трубопроводы, прокладываемые в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.

**Предмет исследования** – повышение эффективности прокладки канализационных трубопроводов за счёт уменьшения глубины заложения в суровых климатических условиях.

**Научная новизна исследования:**

– по результатам натурных исследований на действующих канализационных сетях в зимний период установлены фактические значения температуры сточной воды на канализационном выпуске в течение суток и ее изменение по длине канализационной сети;

– на разработанном автором лабораторном стенде экспериментально определены размеры талика в мёрзлом грунте при пропуске по трубопроводу воды с разной температурой, с различной степенью наполнения трубопровода. Сравнение фактического значения талика с расчётным по формуле профессора Порхаева Г.В. показало, что фактический размер талика на 8-12% больше расчётного;

– введен новый параметр «защитное время», включающий в себя продолжительность периода, в течение которого происходит промерзание талика и остывание воды в трубопроводе до 0 °С;

– предложен новый параметр «время восстановления», учитывающий промежуток времени, необходимый службе эксплуатации для выполнения ремонтно-восстановительных работ на канализационном трубопроводе.

**Теоретическая значимость работы** заключается в оценке аварийности канализационных трубопроводов в г. Кызыл, проложенных в слое сезонного промерзания грунтов, установлении диапазона расчетных значений температур сточной воды в канализационном выпуске, разработке новых эксплуатационных параметров канализационной сети.

**Практическая значимость работы** состоит в следующем: разработана методика и составлена программа для ЭВМ по расчёту минимальной глубины заложения канализационных трубопроводов для районов с глубоким сезонным промерзанием грунтов.

**Методология и методы исследования.** В работе использованы основные положения строительных нормативов и правил по прокладке канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях, проанализированы труды отечественных и зарубежных учёных по изучаемой теме, рассмотрены методы планирования и проведения натурных и экспериментальных исследований, методики теплотехнических расчётов канализационных трубопроводов, обработаны полученные натурные и экспериментальные данные с применением программного комплекса Microsoft Office Excel, Mathcad.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты натурного исследования теплового режима канализационного выпуска в зимний период;
- результаты экспериментальных исследований по определению размера талика при пропуске по трубопроводу воды с разной температурой и степенью наполнения трубопровода;
- экспериментальные зависимости для определения новых параметров «защитное время» и «время восстановления» участков канализационной сети;
- методика и программа для ЭВМ по расчёту минимальной глубины заложения канализационных трубопроводов;
- результаты экономической оценки прокладки канализационных трубопроводов за счёт уменьшения глубины заложения в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, а именно: п. 12 «Экономическая, технологическая и экологическая эффективность систем водного хозяйства городов, промышленных комплексов и производственных предприятий, оптимизация проектных решений строительства новых, технического перевооружения и реконструкции существующих систем, оптимизации режима работы систем и их отдельных

элементов в соответствии с фактическим режимом водопотребления и отведения отработанной воды».

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов подтверждается проведением натуральных и экспериментальных исследований, использованием натуральных и экспериментальных данных в качестве исходной информации для разработанной методики; применением современных измерительных приборов и оборудования; удовлетворительной сходимостью расчётных и экспериментальных результатов исследований, выполненных в лабораторных условиях, обеспечена апробацией и представлением этапов работы на научных конференциях и семинарах.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались: на 61, 62, 63-й международных научно-технических конференциях молодых учёных «Актуальные проблемы современного строительства», Санкт-Петербург, 2008 г., 2009 г., 2010 г.; на 66 и 67-й научных конференциях профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета, Санкт-Петербург, 2009 г., 2010 г.; на ежегодных научно-практических конференциях преподавателей, сотрудников и аспирантов ТывГУ», Кызыл, 2008 г., 2010 г., 2011 г., 2018 г., 2019 г.; на III Республиканской научно-практической конференции студентов «Молодежь и инновации: опыт, проблемы, перспективы» с межрегиональным участием, Кызыл, 2012 г.; на международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию юбилею ТувГУ, Кызыл, 2015 г.; на всероссийской конференции с международным участием II Юдахинские чтения «Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий», Архангельск, 2019 г.; на XXI международной научно-практической конференции «Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке», Тюмень, 2019 г.; на XV международной научно-технической конференции «Яковлевские чтения», Москва, 2020 г.

Результаты исследования подтверждаются актами о внедрении Министерства строительства и ЖКХ Республики Тыва, ООО «Водоканал-Сервис» г. Кызыла Республики Тыва (приложения А, Б).

Результаты диссертационной работы использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО ТувГУ и ФГБОУ ВО ПГУПС (приложения В, Г).

Диссертантом выполнен грант Главы – Председателя Правительства Республики Тыва для поддержки молодых учёных в 2015–2016 гг. по теме «Проектирование сетей водоотведения в особых природных и климатических условиях».

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 22 печатных работах общим объёмом 7,34 п.л. и лично автором 4,41 п.л., в том числе 6 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, утверждённых ВАК РФ, 3 из которых выполнены автором без соавторов, 2 работы опубликованы в издании, индексируемом в международной реферативной базе Scopus, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, имеется 1 патент на изобретение.

**Структура и объём диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (143 наименования) и 5 приложений. Диссертация содержит 133 страницы машинописного текста, 33 таблицы, 38 рисунков.

# **1 АНАЛИЗ ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В РАЙОНАХ ГЛУБОКОГО СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ**

## **1.1 Опыт строительства и эксплуатации канализационных сетей в различных регионах Российской Федерации**

Значительный резерв повышения экономической эффективности строительства содержится в совершенствовании инженерных решений проектируемых объектов. К числу таких вопросов относится уменьшение глубины заложения санитарно-технических коммуникаций и, в частности, канализационных сетей, прежде всего для районов глубокого сезонного промерзания грунтов [59]. Эти районы занимают весьма обширную территорию страны и отличаются региональными особенностями, характеризующимися такими природно-климатическими признаками, как резко выраженная континентальность, значительная продолжительность морозного периода.

В районах глубокого сезонного промерзания грунтов [104] по наружным сетям и сооружениям канализации допускается вести прокладку самотечных канализационных трубопроводов диаметром до 500 мм на 0,3 м, а для труб диаметром более 500 мм на 0,5 м выше менее наибольшей глубины проникновения в грунт нулевой изотермы. Протяженность канализационных сетей по городу составляет 88,3 км, глубина сезонного промерзания в Кызыле – 3–4 м, средняя глубина заложения трубопроводов, с учетом необходимого уклона – 4–6 м [65], что приводит к значительному удорожанию строительной стоимости.

В нашей стране имеется опыт прокладки трубопроводов в мёрзлом грунте. Такие трубопроводы эксплуатируются в Красноярском крае, Магаданской, Иркутской, Читинской, Тюменской областях, Хабаровском крае, в г. Улан-Удэ.

Уменьшение глубины заложения канализационных сетей при сохранении надёжности работы в нормальном эксплуатационном режиме и обеспечение незамерзаемости в возможных аварийных ситуациях являются составляющими

актуальной задачи технико-экономической эффективности в системе водного хозяйства городов, промышленных комплексов и производственных предприятий.

Ниже приведены данные по опыту проектирования и эксплуатации канализационных трубопроводов, проложенных в слое сезонного промерзания грунтов, в различных регионах России.

### *г. Красноярск*

В Красноярске глубина сезонного промерзания составляет 3,0 м. Начальные участки канализационных труб ряда трасс проложены строителями с глубиной от первого колодца, равной 1,8 м; по данным эксплуатационного предприятия случаев замерзания мелкозаглубленной канализационной сети не было. Как правило, мелкая прокладка канализации создается вынужденно, при необходимости подключения здания или группы зданий к уже проложенному коллектору. При выполнении таких работ акционерным обществом «Территориальный градостроительный институт «Красноярскгражданпроект» предусматривается утепление канализационных сетей, проложенных на глубине менее 2 м [74]. В некоторых случаях утепление канализации осуществляется без устройства железобетонного канала, трубопровод в траншее просто засыпается керамзитобетоном.

### *Результаты натурных наблюдений*

Наблюдения за температурным режимом грунта в Красноярске вокруг действующей более 10 лет канализационной сети от дома с горячим водоснабжением позволяют сделать следующие выводы:

- 1) размеры талой зоны вокруг трубопровода [65] значительны, сверху трубы при минимальной температуре грунта талая зона составляет около 20–30 см;
- 2) суточные колебания температуры наружного воздуха в зимний период практически не оказывают влияния на температурный режим талика;
- 3) наличие талой зоны под трубой наблюдалось весь период исследований [65];
- 4) аварийная остановка трубопровода в течение 1–2 суток не представляет опасности, перемерзание его за этот период исключается;

5) уменьшение глубины заложения канализационных сетей от зданий, оборудованных горячим водоснабжением, возможно до минимальной величины (из условий механической прочности трубы  $h_3 = 0,8$  м) при теплотехническом обосновании.

Натурные наблюдения за температурным режимом сточных вод позволяют сделать следующие выводы:

- минимальная температура сточных вод на выпуске из здания с горячим водоснабжением составляет около  $15$  °С, максимальная  $26$  °С;
- изменение температуры сточных вод в указанных пределах ( $15$ – $26$  °С) может происходить скачкообразно при уменьшении расхода горячей воды (измерения выполнялись в течение суток в каждый час);
- наименьшая температура воды чаще наблюдается в часы минимального водоразбора [74].

#### *Иркутская область*

В Иркутске имеются участки мелкозаглубленной самотечной канализации, также, как и в Красноярске, мелкое заглубление сети является вынужденным для присоединения к уже существующей. Кроме того, встречаются участки, где начальное заглубление сети составляет менее  $1,0$  м (до лотка трубы). Эти участки, а также участки с глубиной заложения до  $1,6$  м, по проекту акционерного общества «Иркутскгражданпроект» проложены в теплофикационном железобетонном канале (принимается самый маленький размер) с засыпкой перлитом, при этом труба предварительно оборачивается рубероидом. По сведениям сотрудников управления муниципального унитарного предприятия «Водоканал» г. Иркутска, мелкие участки канализации строители зачастую засыпают керамзитобетоном или оборачивают минеральной ватой [65].

По данным управления водопроводно-канализационного хозяйства г. Иркутска, наименьшая глубина заложения самотечной канализации, при которой не наблюдается замерзание трубопроводов, составляет  $0,7$ – $1,0$  м – при его заполнении в долях диаметра более  $0,2$  м и при наличии горячего водоснабжения

потребителей (средняя температура сточной жидкости, поступающей на очистные сооружения, в течение сезона изменяется незначительно и составляет 13–16 °С).

В городе Черемхово применяется мелкозаглубленная прокладка канализации. Например, на улице Кирова от двухэтажного детского сада (в здании имеется горячее водоснабжение) проложен чугунный канализационный трубопровод без изоляции диаметром 200 мм на глубине от 1,4 м. Прокладка осуществлена в сухих суглинистых грунтах, грунтовых вод на участке нет. Канализация эксплуатируется с 1972 г., аварий за этот период не было. Мелкое заглубление было принято по инициативе строительной организации [74].

#### *г. Улан-Удэ*

В Улан-Удэ глубина сезонного промерзания грунта составляет 3,6 м.

В сухих грунтах самотечные сети канализации из асбестоцементных, керамических труб укладываются в слое мёрзлого грунта, минимальная глубина заложения принимается от 1,7 м при наличии централизованного горячего водоснабжения, без утеплителя.

На участках, где имеются грунтовые воды, островная вечная мерзлота, канализация прокладывается в железобетонных лотках, а в сухих грунтах предусматривают прокладку в утеплителе из глинобетона или битуминизированного суглинка, керамзита. На практике указанные утеплители без лотков строителями не применяются, иногда применяют шлак с опилками или без опилок. Прокладка трубы диаметром 200 мм, глубина заложения до лотка канала 1,22 м., т.е. до верха канала 0,70 м. Сети проложены в лотковых каналах, теплоизолируются матами из минеральной ваты толщиной 60 мм. Под раструбы труб укладываются опорные деревянные брусья через 1 м. Вокруг колодцев предусматривается обваловка грунтом.

#### *Тюменская область*

В Нефтеюганске проложены сети канализации с уменьшенной глубиной заложения лотков первых колодцев от 1,6 м. Нормативная глубина промерзания грунтов составляет 2,6 м. Опыт эксплуатации показывает, что случаев замерзания трубопроводов не зафиксировано [74]. Следует отметить, что

«НИИПрградостроительства» (г. Санкт-Петербург) в 1981 г. разработал Технические условия на проектирование канализационных сетей в Нефтеюганске, в которых принята уменьшенная по сравнению с [107] глубина заложения – 2,0 м до лотка трубы.

В Сургуте Главтюменнефтегазстрой Миннефтегазстроя СССР с 1964 г. осуществляет прокладку сетей канализации в слое сезонного промерзания грунта; глубина заложения первого колодца принимается 1,5 м от планировочной отметки. Глубина сезонного промерзания на территории Сургута составляет 4,0–4,5 м [65].

По данным эксплуатирующих организаций Сургута, представленным ЗапСибЗНИИЭПом, случаев замерзания канализационных сетей с глубиной заложения от 1,6 м, находящихся в эксплуатации с 1970 г., не было [74].

В Сургуте в 1986–1987 гг. выполнялись исследования по определению процесса теплового взаимодействия канализационных сетей микрорайона «Строитель», построенных в 1964–1970 гг. и проложенных в зоне сезонного промерзания грунтов.

#### *г. Чита*

Глубина сезонного промерзания на территории Читы составляет 3 м. Эксплуатация канализационных трубопроводов [65] осуществляется в гравийно-галечных отложениях и глине.

Начальные участки сети от зданий с горячим водоснабжением уложены на глубине от 1,5 до 2,5 м.

Материалы канализационных сетей в основном представлены из чугунных и асбестоцементных трубопроводов, которые в случае горячего водоснабжения проложены бесканальным способом без утепления с заглублением 3 м, со смотровыми колодцами из сборного железобетона.

Больше половины участков канализационной сети заложены в 1986 г. и выработали свой ресурс.

#### *Магаданская область*

В Магадане – городе с глубоким сезонным промерзанием грунтов – большинство канализационных выпусков устраивается на глубине, рекомендуемой

[104], но существует несколько участков мелкого заложения, проложенных не по проекту – на 1,7 м от поверхности земли. Случаев перемерзания, по информации, полученной от муниципального унитарного предприятия г. Магадана «Водоканал», на этих участках не отмечено [74].

В ряде городов и посёлков Магаданской области также имеются участки канализационных сетей мелкого заложения. Это районы распространения вечномёрзлых грунтов с низкими (до  $-50$  °С) расчётными температурами наружного воздуха. Например, в посёлке Усть-Унчуг с 1977 г. эксплуатируется проложенная по инициативе строителей канализационная сеть из стальных труб диаметром 150 мм с глубиной заложения лотка первого канализационного колодца 0,8 м. За весь период эксплуатации перемерзаний стоков и других аварийных ситуаций в канализационной сети не отмечалось [74].

По данным института ООО «Дальстройпроект», в Сусумане Магаданской области проложен без проекта участок канализационной сети диаметром 150 мм из стальных труб без утеплителя с глубиной заложения лотка первого канализационного колодца около 1 м, отводящий стоки от 5-ти этажного дома (с горячим водоснабжением). С момента начала эксплуатации жилого дома и канализационного трубопровода (1978 г.) при отсутствии холостых сбросов никаких аварий на этом участке также не отмечено.

По заключениям эксплуатирующих организаций, практически во всех населенных пунктах этого региона имеются аналогичные участки, но случаев замерзания стоков в канализационных трубопроводах не зарегистрировано [74]. Все аварии как на выпусках, так и на начальных участках канализационных сетей связаны с низким качеством строительных работ, в результате чего имеют место утечки, неравномерные просадки и разрывы трубопроводов.

#### *Хабаровск*

На территории Хабаровска глубина сезонного промерзания грунта составляет 2,9 м; грунты преимущественно глинистые.

Канализационные сети, укладываемые из керамических и чугунных трубопроводов, прокладывают частично в слое мёрзлого грунта.

Начальные участки сети от зданий с горячим водоснабжением уложены на глубине от 1,7 до 2,0 м. При этом участок трубы, проложенный до глубины, равной 2 м, утепляется. На рисунке 1.1 показана конструкция утепления трубопровода в Хабаровске.

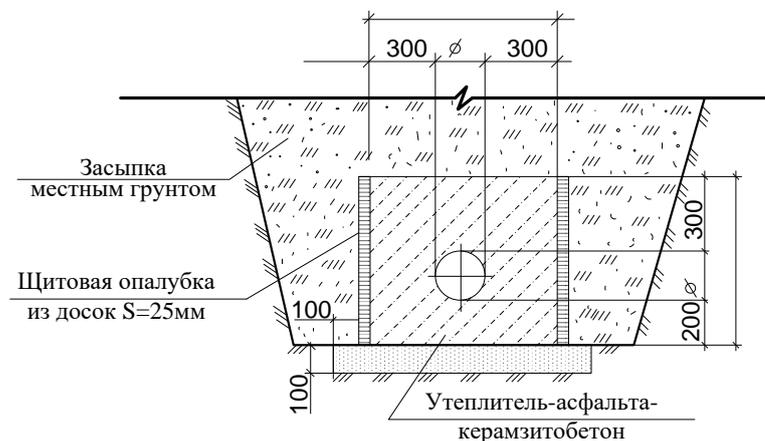


Рисунок 1.1 – Утепление трубопровода (г. Хабаровск)

Железобетонные трубы при мелкой прокладке, как отмечают сотрудники управления муниципального унитарного предприятия города Хабаровска «Водоканал», применять не следует, так как довольно быстро происходит разрушение бетона вследствие морозной деструкции. Кроме того, разрушаются бетонные кольца колодцев, поэтому в Хабаровске выполняют их утепление асфальтокерамзитобетонном на высоту 30–60 см.

В Хабаровске выполнялась работа с целью изучения специфических условий, возникающих при эксплуатации канализационных коллекторов, проложенных в зоне сезонного промерзания грунтов, и определения надёжности эксплуатации таких трубопроводов. Главным критерием при назначении оптимальной глубины заложения принята надёжность эксплуатации сетей в отношении условий, вызывающих аварии. Для оценки надёжности работы трубопроводов рассматривались такие показатели, как уровень аварийности, допустимая продолжительность работ по ликвидации аварий и допустимое снижение температуры воды в трубопроводе. В таблице 1.1 приведены данные о прокладке сетей в Хабаровске.

Таблица 1.1 – Прокладка канализационных сетей в Хабаровске

Наименование улицы / микрорайона	Глубина заложения лотка первого колодца, м	Диаметр трубы, мм	Материал труб	Конструкция прокладки	Жилое или общественное здание	Год сдачи в эксплуатацию
Союзная	1,77	200	чугун, асбесто-цемент	Засыпка керамзитом	Общежитие на 216 мест	1974
Парковая	1,29	200	чугун	Утепления нет	129-квартирный жилой дом	1973
Союзная	1,54	200	асбесто-цемент	Рис. 1.1	Детский сад	1982
Пионерская	1,1	200	керамзито-бетон	Рис. 1.1	9-этажный дом	1979
Союзная	1,76	200	керамзито-бетон	Утепления нет	Профилакторий	1972
Большая Вяземская	1,24	200	чугун	Рис. 1.1	Жилой дом	1982
Индустриальная	1,01	300	чугун	Утепления нет	Жилой дом	1985
Шимановского	1,14	200	чугун	Рис.1.1	Детский сад	1989
Выборгская	1,21	250	керамзито-бетон	Утепления нет	60-квартирный жилой дом	1989
Северный микрорайон	1,3	150	чугун	Рис. 1.1	10-квартирный жилой дом	1988
Гамарника	0,85	200	чугун	Рис. 1.1	АТС	1989

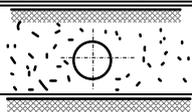
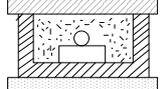
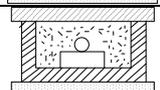
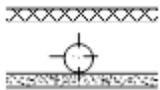
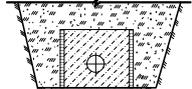
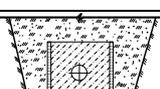
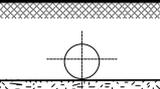
Существующий опыт строительства и эксплуатации доказывает возможность, а также эффективность мелкозаглубленных трубопроводов.

Устойчивость подземных трубопроводов обеспечивается надёжным основанием и мерами против его растепления как от тепловыделений самих трубопроводов, так и от действия потока поверхностных и надмерзлотных вод

по трассе трубопроводов. При просадочных грунтах, когда деформации основания трубопроводов при оттаивании могут превышать предельные величины, подземную прокладку трубопроводов следует сопровождать устройством искусственного основания. Большое значение для устойчивости трубопроводов имеет пучинистость грунтов. При оттаивании и промерзании грунта возникают усилия, которые оказывают сложное воздействие на трубопроводы.

Конструкции прокладки канализационных трубопроводов в различных регионах приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Конструкции прокладки канализационных трубопроводов в различных регионах

Город / область	Материал	Конструкция прокладки
Нефтеюганск	чугун	
Сургут	чугун	
Красноярск	чугун	
Иркутск	чугун	
Черемхово Иркутской области	чугун	
Улан-Удэ	чугун, асбестоцемент	
Хабаровск	чугун, керамич.	
Магаданская область	чугун, сталь	

Технические решения подземной прокладки определяются мерзлотно-грунтовыми условиями и диаметром труб.

С уменьшением глубины заложения снижается стоимость строительства и ремонта трубопроводов, облегчаются условия их эксплуатации [23].

В таблице 1.3 приведена минимальная глубина заложения лотка первого канализационного колодца и глубина заложения канализационных трубопроводов.

Таблица 1.3 – Глубина заложения канализационных трубопроводов в различных городах Российской Федерации

Город / область	Минимальная глубина заложения лотка первого канализационного колодца, м	Глубина сезонного промерзания грунтов, м
Нефтеюганск	1,7	2,6
Сургут	1,7	2,4
Красноярск	1,8	3
Иркутск	1,7	3,5
Черемхово Иркутской области	1,7	3,6
Улан-Удэ	1,8	3,6
Хабаровск	1,7	2,9

На рисунке 1.2 показана гистограмма глубины сезонного промерзания грунта по разным регионам Российской Федерации.

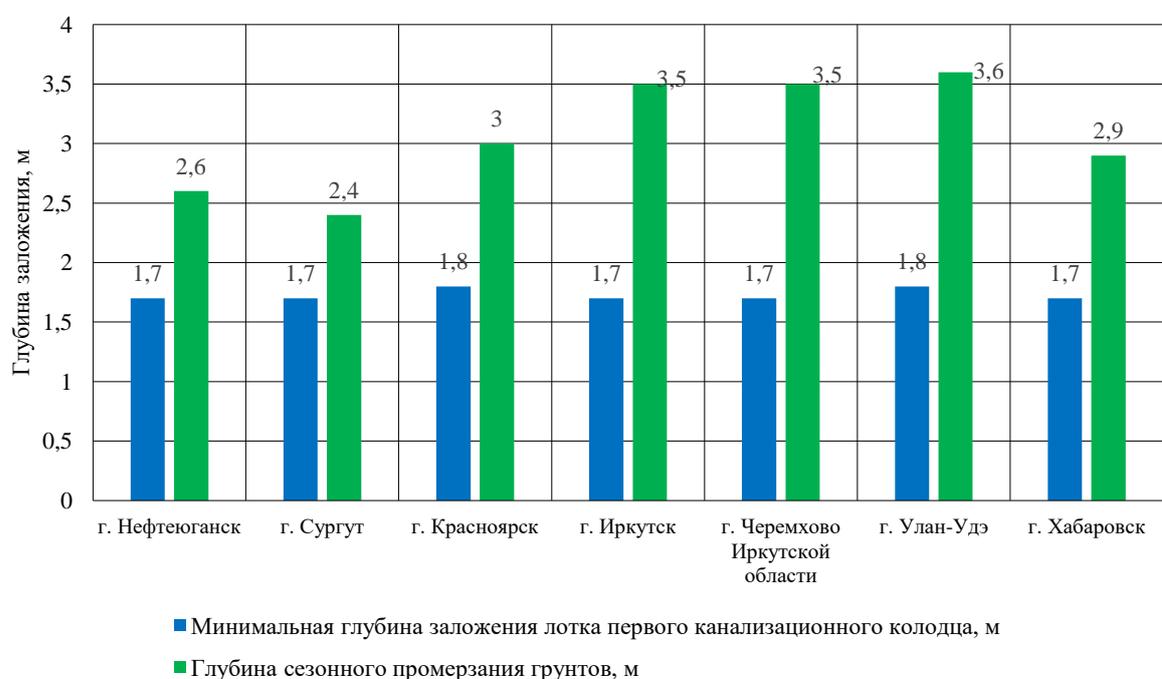


Рисунок 1.2 – Зависимость глубины сезонного промерзания грунта по разным регионам РФ

Проанализировав полученные данные, сведённые в таблицы (1.1–1.3), можно отметить, что в ряде регионов прокладка труб канализации на глубине 1,5–1,8 м показала нормальную устойчивую работу трубопроводов.

На основании проведённого анализа опыта прокладки канализационных трубопроводов в различных регионах Российской Федерации показал, что в ряде регионов прокладка труб канализации на глубине 1,7–1,8 м подтверждает нормальную устойчивую работу трубопроводов. Максимальную глубину заложения канализационных трубопроводов уличной сети можно допускать до 6–9 м.

## **1.2 Особенности природно-климатических условий г. Кызыл, влияющие на устройство канализационных трубопроводов**

Особенности работы водопроводно-канализационных сетей в условиях многолетней мерзлоты определяются наличием низкой температуры грунта, требующей принятия специальных мер по защите трубопроводов от замерзания, высоким влагосодержанием (льдистостью) грунтов, вызывающим их сезонную пульсацию и большую осадку при оттаивании, и водонепроницаемостью мерзлых грунтов, оказывающей дополнительные воздействия на грунт при скоплении влаги вдоль трассы трубопроводов.

Этими особенностями работы водопроводно-канализационных сетей определяются следующие основные требования к их проектированию и строительству:

- 1) предохранение водопровода и канализации от замерзания;
- 2) сохранение механической прочности и высоких термоизоляционных свойств изоляции трубопроводов в условиях низких отрицательных температур и значительного влагонасыщения окружающей среды (грунта или воздуха);
- 3) предохранение трубопроводов от повреждений в результате деформаций грунта.

При проектировании водопроводных и канализационных сетей необходимо учитывать, что малая плотность водопотребления и теплотребления для большинства городов и населенных пунктов в районах многолетней мерзлоты и большая относительная протяженность сетей требуют применения облегченных, т. е. сравнительно недорогих конструкций прокладок.

**Климат.** Республика Тыва является одной из молодых и интенсивно развивающихся республик Российской Федерации. Республика в масштабе страны занимает уникальное геополитическое положение.

Территория Тывы – это транзитный коридор стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Республика Тыва расположена в центре Азии на юге Восточной Сибири, в верховьях реки Енисей. Площадь республики составляет 16 803,6 тыс. кв. км (24-й по площади субъект Российской Федерации; 3,33 % территории Сибирского Федерального округа; 1 % территории Российской Федерации). Граничит с Монгольской Народной Республикой, Иркутской областью, Республикой Хакасия, Республикой Бурятия, Республикой Алтай, Красноярским краем. Главные реки – Улуг-Хем (Верхний Енисей). Расстояние до Москвы – 4668 км.

Население Республики Тыва составляет 323 130 тыс. человек (на 01.01.2019 г.), из которых 54 % – городские жители. Уровень экономически активного населения республики составляет 57,7 % (в возрасте 15–72 лет).

Территория Республика Тыва административно разделена на 17 кожуунов (районов), 5 городов (из них 2 города республиканского значения: Кызыл и Ак-Довурак), 1 посёлок городского типа и 120 сельских населенных пунктов.

Территория характеризуется низкой плотностью населения – 1,8 человек на 1 м<sup>2</sup>, в сельской местности – 0,9 человек на 1 м<sup>2</sup>.

По природно-климатическим условиям часть республики приравнена к районам Крайнего Севера.

Республика Тыва представляет собой регион с чрезвычайно сложным геологическим строением, территория которой расположена в области пересечения Алтае-Саянской и Байкальской сейсмических зон, входящих в глобальный

Трансазиатский сейсмический пояс, где выделяются зоны сейсмичностью 8, 9 и 10 баллов по шкале Рихтера.

Территория республики представляет собой горную страну с чередованием высоких хребтов и глубоких межгорных котловин [55].

В столице Республики Тыва – Кызыле – проживает 174 955 человек. Республика Тыва остается одним из немногих регионов России с положительным естественным приростом населения.

Город Кызыл характеризуется резко континентальным климатом с продолжительной очень суровой зимой и коротким жарким летом, большой разницей дневных и ночных температур.

Зима начинается в октябре и длится более 6-ти месяцев, в течение которых преобладает холодная погода.

В январе отмечается самая низкая среднемесячная температура воздуха в году ( $-33,7$  °С) и наблюдался абсолютный минимум, равный  $-58$  °С. Средняя июльская температура составляет  $+19,6$  °С. Абсолютный максимум достигает  $+38$  °С.

Температура самой холодной пятидневки  $-51$  °С. Продолжительность отопительного периода составляет 7,5 месяцев. Среднегодовая скорость ветра 1,5 м/с, зимой – около 1,1 м/с

### **1.3 Характеристика существующей системы канализации г. Кызыл**

В настоящее время в Кызыле эксплуатируется централизованная система водоотведения [61], которая классифицируется как неполная раздельная.

В сети действует пять канализационных насосных станций (КНС), которые перекачивают стоки в магистральный железобетонный коллектор диаметром 1200–1400 мм, по которому они подаются на очистные сооружения города.

По данным ООО «Водоканал-Сервис», среднесуточный пропуск сточных вод системой канализации города составляет 18,57 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [87].

В капитальной застройке Кызыла процент охвата централизованной системой канализации составляет 35,4 %, индивидуальная застройка не канализована.

Протяжённость общей канализационной сети по городу по состоянию на 30.12.20 г. составляет 88,3 км, в том числе напорных коллекторов – 8,4 км, самотечных коллекторов – 79,9 км. Среднесуточный фактический объём сточных вод составляет 23,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

На рисунке 1.3 показано проведение работ по реконструкции участков канализационной сети в Кызыле.

а)



б)



Рисунок 1.3 – Реконструкция сетей канализации Кызыла:

а) по ул. Интернациональной; б) по ул. Красных Партизан

Глубина заложения канализационных трубопроводов по городу от 2 до 6,0 м. Материал труб – чугун.

Канализационный коллектор, расположенный по улице Красноармейской до пересечения с улицей Ленина, выполненный из асбестоцементных труб, проложен с уклонами, способствующими отложению осадка. В связи с превышением нормативного срока службы трубы отмечено механическое разрушение стен труб корнями деревьев, что вызывает дополнительный подпор и засорение сети.

Канализационный коллектор, расположенный по улице Ленина, проложен с нарушениями: уменьшен диаметр труб с 400 до 350 мм и не соблюден проектный уклон прокладки трубопровода. Этот коллектор перегружен на 30–47 %.

Канализационные сети, проложенные по улицам Комсомольской, Чульдума, Ленина, Тувинских Добровольцев, работают с перегрузкой, что затрудняет осуществлять реконструкцию центральной части города.

В таблице 1.4 приведены данные по канализационным сетям г. Кызыл.

Таблица 1.4 – Основные данные по канализационным сетям Кызыла без теплоизоляции

Расположение участка на улице	Длина труб, м	Материал труб	Диаметр, мм	Температура сточной воды начального участка, °С	Этажность зданий	Глубина прокладки, м
Кочетова	1180	железобетон	900	17	4	2
Рабочая	175	асбестоцемент	150	17	5	2,5
Калинина	853	железобетон	900	17	5	2,8
Дружба	2900	асбестоцемент	200–300	17	5,9	2
Чульдум	490	асбестоцемент	150–200	17	2,3	1,9

Из 88 км канализационных коллекторов требуют замены 17 км (износ 100 %). В таблице 1.5 приведена протяжённость канализационных трубопроводов Кызыла.

Таблица 1.5 – Протяжённость канализационных трубопроводов Кызыла (по состоянию на 30.12.2020 г.)

Диаметр труб, мм				Итого, м
150–250	300–400	600–800	1000–1500	88 385
53 180	21 712	6262	7231	

На рисунке 1.4 показано распределение протяжённости канализационных сетей Кызыла по диаметрам трубопроводов.

### Реконструкция канализационных сетей г. Кызыла.

Реконструкция канализационных сетей позволит увеличить их пропускную способность и, как следствие, появится возможность подключения новых объектов, а также уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций на участках после проведения восстановительных работ.

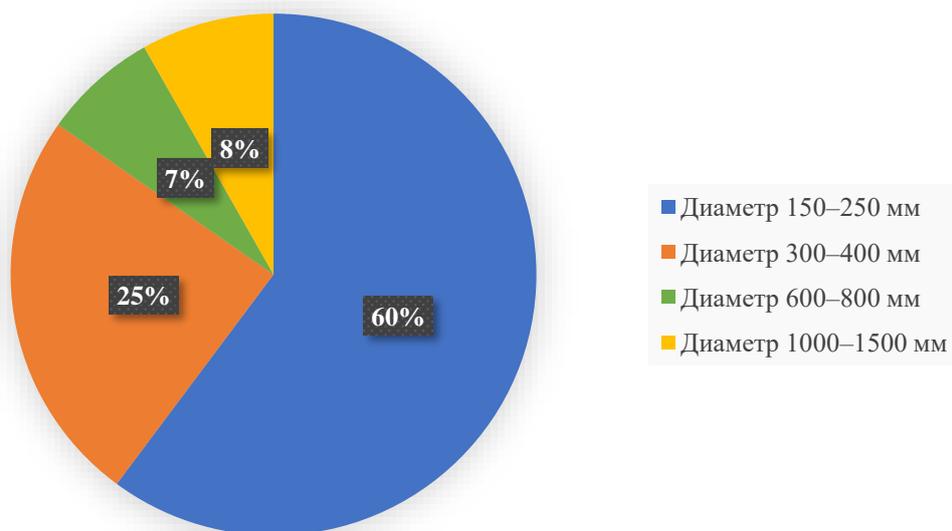


Рисунок 1.4 – Распределение протяжённости канализационных сетей в Кызыле по диаметрам трубопровода

На рисунке 1.5 показано состояние канализационных сетей г. Кызыла на 2020 год.

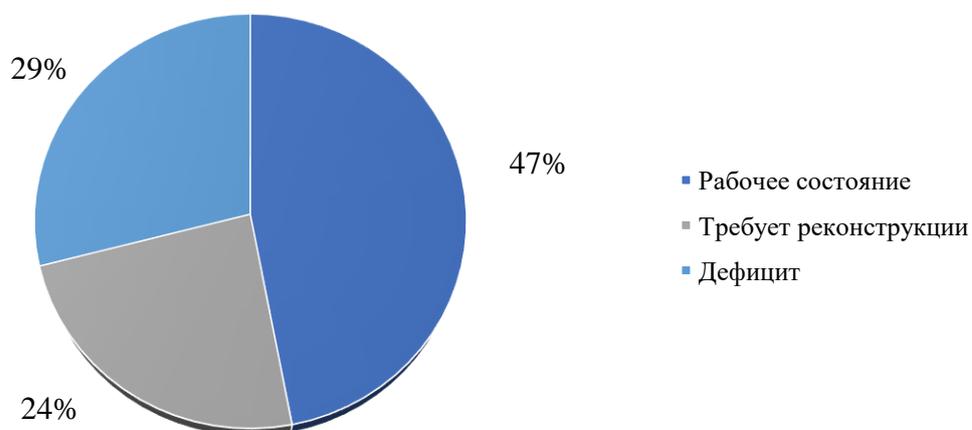


Рисунок 1.5 – Состояние канализационных сетей г. Кызыл на 2020 г.

В Кызыле 47 % сети канализации функционирует, но работает с перегрузками и давно выработали свой ресурс; 24 % сети канализации нуждается в реконструкции, их состояние на данный момент требует срочной замены ветхих канализационных участков, выработавших срок эксплуатации, на трубы из полимерных материалов; 29 % новых канализационных сетей необходимо проложить для подключения строящихся жилых домов к наружным сетям (что требует увеличения мощности очистных сооружений).

Проблемы водоотведения города.

На рисунке 1.6 показана существующая магистральная канализационная сеть Кызыла, которая охватывает только центральные районы, что составляет 70% от необходимого для её нормального функционирования.

С учётом вышеперечисленных проблем можно сделать вывод, что предстоит огромный объём работ по строительству и эксплуатации сетей канализации, как для канализованных районов города, так и для районов, не имеющих канализации, а также для проектируемой застройки.

## **1.4 Анализ состояния и аварийности канализационных трубопроводов в г. Кызыл**

### **1.4.1 Глубина сезонного промерзания грунтов в Республике Тыва**

В Республике Тыва промерзание грунтов начинается после наступления устойчивых отрицательных температур воздуха – в середине октября.

Скорости продвижения нулевой изотермы в глубь массива различны. Скорость промерзания с декабря по февраль максимальная и изменяется от 30 до 40 мм/сут. (по данным наблюдений в селе Тоора-Хем). В марте – апреле заметно замедление продвижения нулевой изотермы в глубь массива. Скорости промерзания в это время незначительны и составляют примерно 1–5 мм/сут., промерзание как бы приостанавливается.

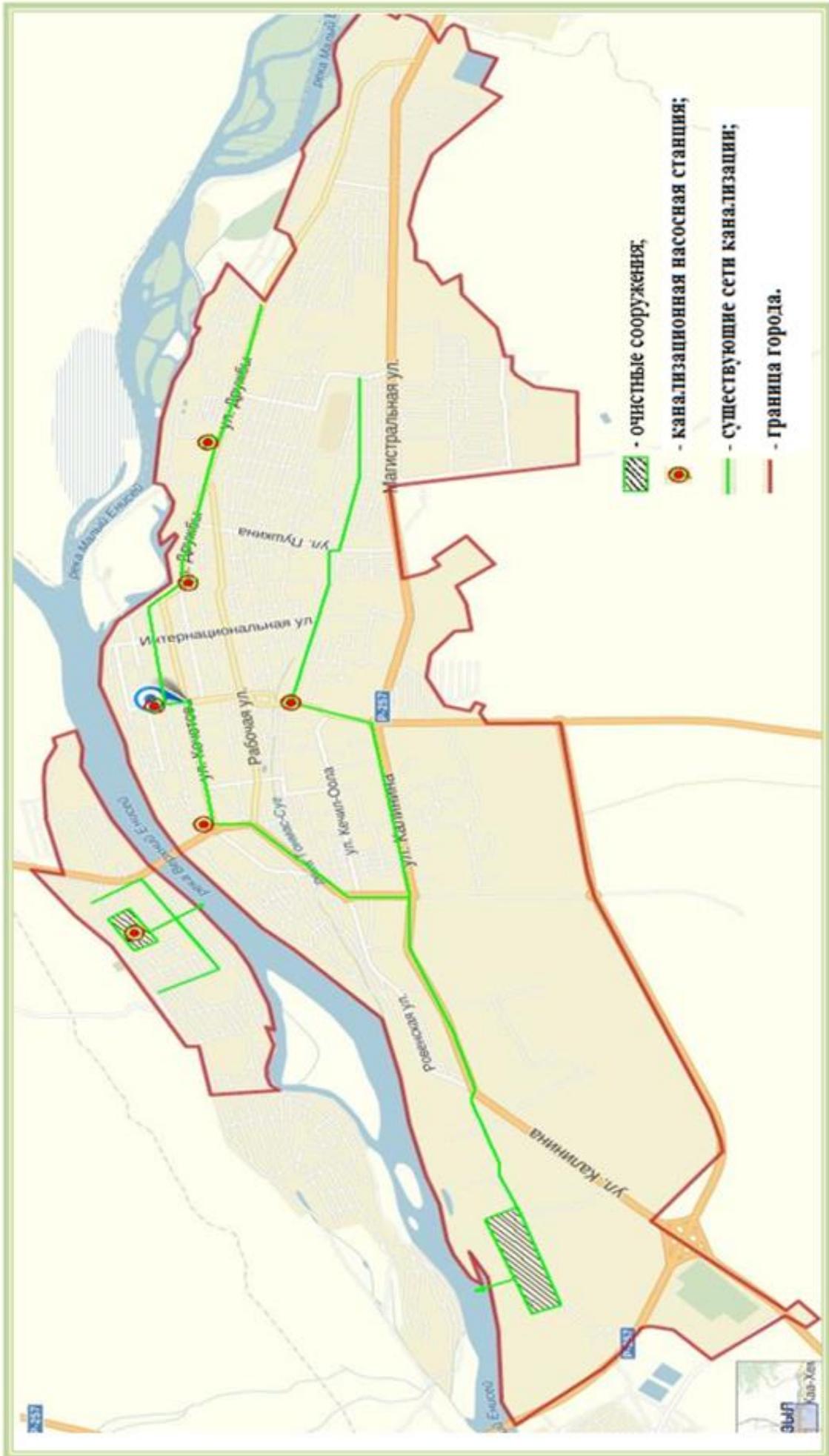


Рисунок 1.6 - Существующая магистральная канализационная сеть г. Кызыл

Резкие колебания температуры грунта наблюдаются до глубины 0,4–0,5 м. С увеличением глубины амплитуды колебаний температуры грунта заметно сглаживаются. Отрицательные значения температуры грунта с глубиной уменьшаются. В верхних слоях минимум температур грунта приходится на февраль, а на глубине 1,6–3,2 м – на апрель и даже на май.

В таблицах 1.6 и 1.7 показаны средняя наибольшая и наименьшая глубина проникновения температуры 0 °С в грунт и даты начала устойчивого промерзания и полного оттаивания грунта на территории Кызыла.

Таблица 1.6– Средняя наибольшая и наименьшая глубина проникновения температуры 0°С в грунт (см) под естественным покровом

Глубина проникновения	Месяц								
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Средняя	20	64	104	145	173	185	193	174	110
Наибольшая	54	115	152	255	287	30	313	290	240
Наименьшая	0	37	71	108	144	131	128	120	0

Таблица 1.7 – Даты начала устойчивого промерзания и полного оттаивания грунта

Месяц					
Начала устойчивого промерзания			Полного оттаивания		
Средняя	Самая ранняя	Самая поздняя	Средняя	Самая ранняя	Самая поздняя
25/X	-	-	27/VI	-	-

В переходные периоды (весенний и осенний) температура воздуха меняется по знаку, но по абсолютной величине в начале и в конце периодов почти одинакова.

Общая продолжительность морозного периода составляет 247 дней, а с отрицательными среднемесячными температурами – 5 месяцев.

В Кызыле оттаивание грунта с поверхности начинается в конце апреля, а полное оттаивание сезонномёрзлого слоя заканчивается в июне, иногда даже в июле. Таким образом, большую часть года верхний слой грунта находится

в мёрзлом состоянии, что имеет существенное значение для проведения строительных работ.

Процесс сезонного промерзания грунта характеризуется значительной неравномерностью. Максимальная скорость промерзания наблюдается в первой половине периода с устойчивыми отрицательными температурами. В дальнейшем, по мере увеличения глубины промерзания, она существенно замедляется, особенно в весенний период, когда промерзание происходит только за счет аккумулированного холода в промерзшем слое.

Оттаивание грунта происходит более равномерно и в 1,5–2 раза быстрее, чем промерзание. Это связано, прежде всего, с более высокой теплопроводностью мёрзлого грунта по сравнению с талым, поступлением тепла в грунт при инфильтрации атмосферных осадков, формированием и сходом снегового покрова.

Значительные изменения температуры грунта наблюдаются до глубины 0,5–0,8 м; ниже этой глубины амплитудные колебания температуры и ее отрицательные значения резко уменьшаются.

Глубина сезонного промерзания грунта зависит от его физических и физико-химических свойств, продолжительности зимнего периода, среднегодовой и средnezимней температур воздуха, мощности снегового покрова, рельефа местности, наличия и характера растительности и т. д. В зависимости от перечисленных факторов глубина сезонного промерзания грунта даже в пределах одного географического пункта может существенно отличаться. В значительной мере глубина сезонного промерзания зависит от дисперсности грунта. Например, на территории Красноярска на очищенных от снега ровных площадках она составляет: в суглинках 2,5–3 м, в супесях 3–3,5 м, в маловажных гравийных, галечниковых и песчаных грунтах 3,5–5 м, в скальных и сухих крупнообломочных грунтах 5–6 м.

На скорость и глубину сезонного промерзания грунта влияют, значительно уменьшая их, подземные воды (для вечномёрзлых грунтов надмерзлотные). В процессе промерзания грунта подземные воды могут стать напорными и выйти

на поверхность. При высоком уровне стояния они повышают пучинистость грунтов.

В районах распространения вечномёрзлых грунтов их поверхностный слой, замерзающий зимой и оттаивающий летом, различается как слой сезонного промерзания или сезонного оттаивания. Различие состоит в том, что в первом случае слой сезоннопромерзающего – сезоннооттаивающего грунта не сливается с вечномёрзлой толщей, во втором – сливается.

Глубина слоя сезонного цикла «промерзание – оттаивание» в районах низкотемпературных вечномёрзлых грунтов сплошного распространения составляет 2–4 м (преимущественно менее 1 м), в южных районах низкотемпературных грунтов сплошного и островного распространения достигает 4 м и более.

Промерзание грунтов на поверхности начинается в конце октября, заканчивается в середине апреля. Общая продолжительность цикла «промерзание – оттаивание» составляет 8–9 месяцев. С глубиной длительность нахождения грунта в мёрзлом состоянии уменьшается: на глубине 0,2 м составляет 175 дней, на 0,8 м – 149 дней, на 1,6 м – 137 дней или соответственно 5,8; 5 и 4,6 месяца. Общий ход промерзания грунта характеризуется заметной неравномерностью: с глубиной интенсивность промерзания падает. Период промерзания в 2,5–3 раза продолжительнее периода оттаивания, при этом вследствие запаздывания распространения температурной волны конечный период промерзания совпадает с периодом оттаивания.

#### **1.4.2 Аварийность канализационных трубопроводов**

Исследования показывают, что вопросы анализа аварий на сетях водоотведения мало освещены в научно-технической литературе<sup>1</sup>. Считается, что аварии на сетях связаны с недоработкой службы эксплуатации. Поэтому

---

<sup>1</sup> По результатам проведенного исследования автором опубликована статья: Майны, Ш. Б. Анализ аварий канализационных трубопроводов (на примере г. Кызыла) / Ш. Б. Майны // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №3 (50). – С. 197-201.

эксплуатационщики стараются, как правило, замалчивать информацию, а если дают описания аварии, то она не всегда отражает объективную картину. В целом аварии, происходящие в различных регионах страны, не подвергаются глубокому исследованию. В открытой печати сведения о них носят отрывочный характер, и данные не всегда соответствуют действительности [61]. Территория юга Восточной Сибири характеризуется наибольшей (до 6 м) глубиной сезонного промерзания грунтов. Данное природное явление встречается лишь в некоторых районах на юге Республик Якутии и Тывы.

В г. Кызыл эксплуатируется централизованная система водоотведения. Протяженность канализационных сетей по городу составляет 88,3 км. Систему канализационных сетей и сооружений г. Кызыл можно охарактеризовать как «весьма старую», 80 % трубопроводов отработали свой нормативный срок службы, установленный по амортизационным подсчетам [61].

Особое место в обеспечении надежности систем водоотведения занимают самотечные трубопроводы, как наиболее уязвимые и функционально значимые элементы системы водоотведения, от надежной и эффективной работы которых во многом зависит состояние окружающей среды [6], развитие промышленности и инфраструктуры города. Как показывает практика эксплуатации, нарушение надежной работы водоотводящих систем связано в основном с авариями [61].

Аварии на трубопроводах в г. Кызыл чаще всего наблюдаются в весенние и осенние месяцы. Для канализационных сетей подземной прокладки можно выделить такие характерные участки, как: домовые выпуски; самотечные трубопроводы, особенно в начале сети; участки, выполненные из различных материалов труб; участки с мелким заложением трубопроводов и т.д. Ход изменения температуры в грунте отстает от температурных колебаний наружного воздуха (апрель, октябрь), максимальное количество аварий для сети приходится, как правило, на 2–3 весенних и 1–2 осенних месяца. Общее количество зарегистрированных аварий за 2010–2019 г. составляет 151. Их ликвидация потребовала раскопки трубопровода и производства ремонтно-восстановительных работ, среди них 62 особо сложные аварии, когда пришлось привлекать

специальные средства и механизмы [61]. Сведения о количестве аварий приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Количество аварий на канализационных трубопроводах

Год	Количество аварий по месяцам, шт.												Общее количество, шт.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2010	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	3
2011	0	0	0	6	2	1	1	0	0	6	2	0	18
2012	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	4
2013	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3	6
2014	0	1	3	8	0	2	4	4	0	7	0	0	29
2015	0	0	3	5	1	0	0	3	4	6	0	0	22
2016	0	0	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	5
2017	0	2	3	5	1	0	0	3	4	8	0	0	26
2018	0	2	2	9	4	3	2	0	3	7	2	0	34
2019	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
Всего													151

Разрывы трубопроводов часто наблюдаются на месте соединения отдельных звеньев по сварному шву, на месте фланцевых соединений и по арматуре. Наибольшее количество аварий (70 %) приходится на нарушение стыковых соединений раструбных канализационных труб, перелом чугунных труб составляет 30% от общего числа аварий [23, 61]. Стыковые соединения нарушаются не только под действием мерзлотных процессов, но и в результате растяжки труб в процессе их засыпки при бесканальной прокладке. Для г. Кызыл глубина заложения трубопроводов колеблется в пределах 2,0 – 6,0 м. Материал труб: сталь, чугун, железобетон и асбестоцемент. Из 151 аварии – 71 авария произошли на участках трубопроводов диаметром 200-400 мм [61]. На рисунке 1.7 показана зависимость аварий от материала и диаметра труб.

За период 2014–2015 гг. зарегистрирована 51 авария. Наибольшее число аварий происходит на чугунных трубопроводах (при выдавливании уплотняющего материала из раструбов и разъединения трубопровода).

Железобетонные трубопроводы были построены в 1960–1970 гг. и имеют общую длину 20 км, что составляет четвертую часть общей протяжённости

канализационной сети Кызыла. Анализ характера повреждений на этих трубах показывает, что коррозии обычно подвергается сводовая часть трубопровода, которая может полностью разрушаться, кроме этого, отмечается разрушение стыкового соединения трубопроводов. Основной причиной аварий является изменение физико-механических свойств грунта вследствие изменения их температурного режима. Мерзлые грунты, оттаивая, теряют несущую способность, трубопроводы вследствие этого деформируются, теряют герметичность и разрушаются. В осенний же период – при замерзании грунта происходит процесс пучения его, что опять-таки вызывает деформации трубопроводов и возникновение аварий [61].

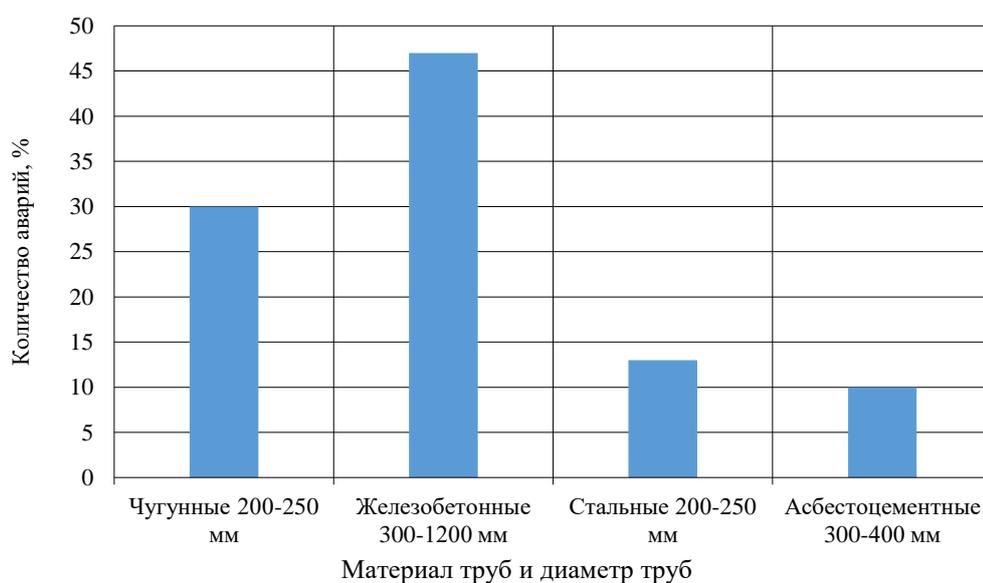


Рисунок 1.7 – Зависимость аварий от материала и диаметра труб

Наибольшее количество аварий происходит во время резких фазовых колебаний в грунте, что изменяет теплофизические свойства грунтов, вызывая деформацию и разрушение трубопроводов.

Из рисунка 1.8 видно, что наибольшее количество аварии происходят во время резких фазовых колебаний в грунте (диапазон температур от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ ), что изменяет теплофизические свойства грунтов, вызывая деформацию и разрушение трубопроводов [61].

Сравнительный анализ количества аварий по месяцам в течение 2010–2019 гг. приведен на рисунке 1.8.

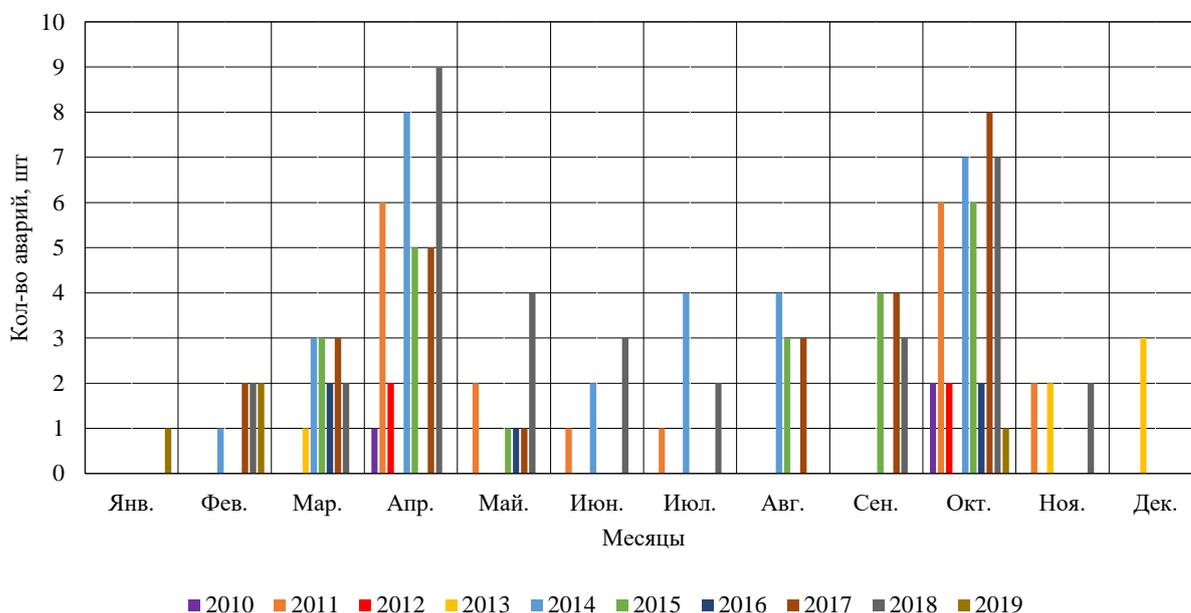


Рисунок 1.8 – Количество аварий по месяцам года

Надежность конструкций канализационных трубопроводов зависит от многих факторов. По значимости это, прежде всего, факторы физико-механического воздействия, геологические условия, глубина заложения, а также факторы, провоцирующие развитие коррозии (качественные показатели сточных вод, скорость движения воды, система вентиляции). Ликвидация аварий при низких температурах воздуха от  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  непроизвольно затягивается, требуется необходимость в дорогостоящей мощной землеройной технике при выполнении трудоемких земляных работ на мерзлых грунтах, что зачастую является технически невозможным процессом. Замерзание воды в канализационных выпусках наблюдается в ночные часы, в жилых зданиях; в общественных зданиях в ночное время и в выходные дни. Отсутствие современных технических средств контроля над состоянием коллекторов не позволяет своевременно обнаруживать дефекты и места повреждений, в результате чего аварийное состояние выявляется только после того, как авария произошла. Все это значительно увеличивает затраты на ликвидацию последствий аварий [61].

Некоторые сведения о затратах, связанных с ликвидацией аварий на восстановление канализационных трубопроводов г. Кызыл, приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Продолжительность ликвидации аварий при восстановлении канализационных трубопроводов (г. Кызыл)

Местоположение аварийного участка	Год	Глубина прокладки, м	Диаметр,	Продолжи-	Затраты на восстановление, тыс. руб.	Температура
ул. Дружба (от школы № 11 до КНС-4)	2006	2,5	300	0,4	275,6	-2,4
ул. Ленина (от ул. Чульдун до КНС- 1)	2007	2,5	900	3	340	-2,4
ул. Комсомольская (от ул. Красноармейская до ул. Ленина)	2009	2,8	900	4,5	551,2	-1,6
ул. Тувинских добровольцев	2013	2,4	200	0,2	137,8	-2,7

Сравнительный анализ затрат на восстановление канализационных трубопроводов при разной продолжительности ликвидаций аварий трубопроводов, приведён на рисунке 1.9.

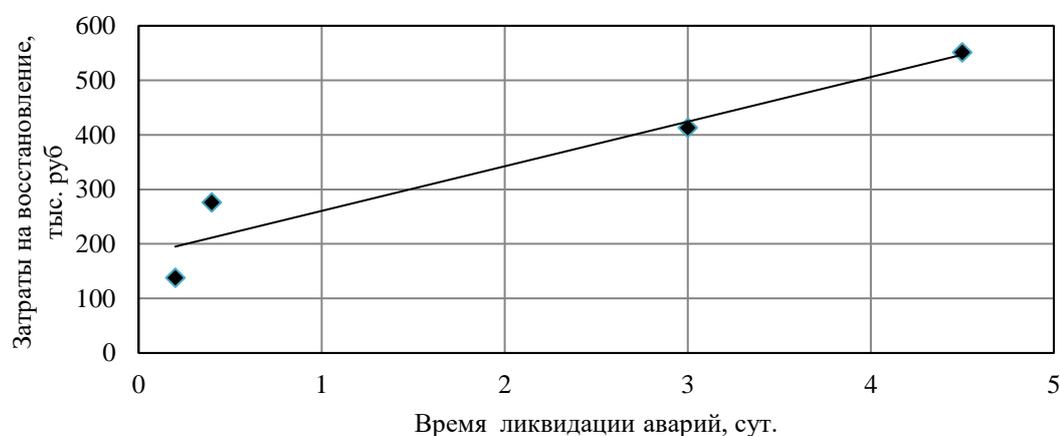


Рисунок 1.9 – Зависимость экономического ущерба от времени ликвидации аварии, руб.

Предупредить промерзание канализационных трубопроводов в аварийной ситуации можно качественным утеплением, осуществлением своевременного сброса воды. Утепление позволяет не только предотвратить промерзание канализационных труб, но и надежно защищает от конденсата [61].

Анализ статистических данных по аварийности канализационных трубопроводов г. Кызыла позволяет сделать следующие выводы:

1. Наибольшее количество аварий возникает на чугунных и железобетонных трубах. Аварии происходят в стыковых соединениях. Основными причинами являются: несовершенство стыковых соединений; деформации трубопроводов, возникающие при пучении и просадках грунтов; коррозия трубопроводов.

2. Ликвидация аварий канализационных трубопроводов глубокого заложения является дорогостоящим и трудно выполнимым процессом. Для повышения надежности эксплуатации канализационных трубопроводов и для уменьшения глубины заложения трубопроводов рекомендуется начальные участки прокладывать выше глубины сезонного промерзания грунта.

3. Затраты на восстановление канализационных трубопроводов резко возрастают из-за деформации трубопроводов, возникающей при пучении и просадках грунтов.

4. Общий анализ ситуаций коммунальной инфраструктуры г. Кызыл показывает, что планово-предупредительный ремонт сетей и оборудования систем водоотведения полностью уступил аварийно-восстановительным работам, единичные затраты на проведение которых в 2,5–3 раза выше, чем затраты на плановый ремонт таких же объектов [61].

### **1.4.3 Типы прокладок трубопроводов**

При расчетах стоимости и надежности работы прокладываемых трубопроводов в первую очередь решается вопрос о допуске на оттаивание сезоннопромерзающих грунтов. Конструкции прокладок, предусматривающие сохранение мерзлого состояния грунта, являются наиболее надежными, поскольку

в процессе эксплуатации трубопровод не подвергается воздействиям деформаций грунта. Однако стоимость таких прокладок очень высока. Конструкции прокладок, допускающих оттаивание окружающего их мерзлого грунта, являются более дешевыми, но менее надежным. Выбор типа прокладок трубопроводов должен определяться с учетом того, сохраняется ли постоянно мерзлое состояние грунта под фундаментами зданий и сооружений, близ которых расположены эти трубопроводы.

При выборе трассы прокладок следует учитывать инженерно-геологические условия, профиль местности, положение основных сооружений, пересечение с дорогами и проездами, снегозаносимость трубопроводов, благоустройство территории и другие факторы, влияющие на стоимость строительства и условия работы трубопроводов во время эксплуатации.

В ряде случаев коммуникации трубопроводов влияют на определение конструкций подвальных помещений зданий и вводов, глубину заложения фундаментов, величину разрыва между основными зданиями и сооружениями, ширину улиц и проездов и т.д. Кроме того, на строительство инженерных сетей существенно влияет характер вертикальной планировки благоустройства, так как их прокладка определяет изменения гидрологического и геотермического режима и мощности деятельного слоя грунта. Поэтому при проектировании канализационных систем в районах мёрзлых грунтов исключительно важным этапом является увязка проекта канализационных сетей с проектом всех сооружений (или с существующими сооружениями) в единый комплексный проект. Только такое проектирование обеспечит технически правильное, рациональное и обоснованное решение по всем частям и стадиям проекта.

Состояние грунта под фундаментом здания, высотность сооружения, коммуникации трубопроводов определяют выбор прокладки: наземного типа или подземного.

**Наземная прокладка** имеет следующие преимущества: минимальное нарушение естественного и гидрогеологического режима грунта, обеспечение доступности трубопроводов для постоянного наблюдения во время эксплуатации,

а также возможность быстрой ликвидации аварий и устранения утечек. Недостатками такого способа прокладки являются загромождение территории, невозможность иметь высококачественную термоизоляцию, неудобство осуществления пересечения с автомобильными и железными дорогами, необходимость устройства компенсаторов, мёртвых опор и утепляющих коробов для арматуры.

Для строительства трубопроводов, грунты оснований которых могут оттаивать в процессе эксплуатации, следует применять подземные типы прокладок по возможности при небольшом заглублении труб, например, прокладки непосредственно в грунт или в бетонных и железобетонных коробах и каналах.

**Прокладка трубопроводов на земляных призмах по земляному полотну** с бетонными опорными подушками под трубы в ряде случаев оказывается более рациональной, чем прокладка на отдельных опорах или по эстакадам, хотя имеет ряд существенных недостатков. Основной из этих недостатков заключается в необходимости подбивания опорных подушек по мере уплотнения земляных призм.

**Прокладка трубопроводов в насыпи** чаще всего используется в условиях, предполагающих оттаивание грунтов оснований в процессе эксплуатации. Она также применяется при строительстве трубопроводов, создаваемых в условиях постоянной мерзлоты в основании фундамента. Этот тип прокладки является одним из самых экономичных. Использование его позволяет отказаться от применения компенсаторов на трубах, что является большим преимуществом этого способа. Отсыпка насыпи производится из любых грунтов, кроме растительного грунта и торфа. Зимой желательно отсыпку вести из гравелистых и песчано-гравелистых грунтов.

**Подземная бесканальная прокладка** трубопроводов имеет широкое применение в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов, так как при допущении оттаивания мерзлого грунта в основании трубопроводов она является самым экономически выгодным типом прокладки.

В настоящее время в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов эксплуатируется большое количество систем канализаций. При строительстве трубопроводов этих систем применены различные типы прокладок. Особых затруднений при эксплуатации трубопроводов не имеется. Следовательно, используемые конструкции прокладок в основном обеспечивают надежность работы систем водопровода и канализации.

Однако этот опыт недостаточно обобщен и поэтому нельзя дать окончательных рекомендаций по внедрению тех или иных типов прокладок в различных условиях строительства.

Необходимо организовать широкий обмен опытом проектирования, строительства и эксплуатации канализационных сетей и широко освещать его, а также усилить контроль за работой различных трубопроводов, проложенных в различных условиях строительства, и главное – проводить эти наблюдения по единой методике, позволяющей выполнять составление отчета и затем проанализировать результаты наблюдений.

#### **1.4.4 Материалы трубопроводов**

К трубопроводам, работающим в суровых климатических условиях, предъявляются повышенные требования. Эти требования заключаются в необходимости обеспечения надежности в работе трубопроводов, их герметичности и гибкости стыковых соединений к просадкам и сдвигающим усилиям, а также в удобстве соединения труб при низких отрицательных температурах. В связи с тем, что деформации грунтов в основаниях трубопроводов полностью избежать практически невозможно наибольшее распространение в качестве материала для трубопроводов получили чугунные раструбные трубы для канализации. Использование этих труб, как показал опыт эксплуатации трубопроводов, вполне обеспечивает указанные выше требования, необходимые для безаварийной работы в суровых климатических условиях.

Асбестоцементные трубы имеют сравнительно небольшую прочность на изгиб, материал, из которого они изготовлены, хрупкий, что сказывается уже при их транспортировании. Основным препятствием к внедрению асбестоцементных труб является недостаточно высокое качество стыков. Материал резиновых колец, применяемых в настоящее время для монтажа трубопроводов, не годится для работы в условиях низких температур, а также при значительных и резких их колебаниях.

Наибольший интерес в качестве материала для трубопровода в суровых климатических условиях будут представлять полиэтиленовые трубы, которые в настоящее время изготавливаются в большом количестве. Полиэтиленовые трубы в 10 раз легче стальных и имеют значительно большую длину. Они обладают следующими качествами, крайне необходимыми для работы в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов: высокими и одинаковыми значениями пределов прочности на растяжение и изгиб, низкой теплопроводностью, удобством соединений посредством сварки или специальных соединительных частей.

Полиэтиленовые трубы при замерзании воды не разрушаются. Для укладки и монтажа таких труб требуется во много раз меньше времени, чем при строительстве трубопроводов из других материалов. Траншея для укладки полиэтиленовых труб может выполняться в виде дренажной щели, что дает большую экономию при производстве земляных работ и сокращает их трудоемкость. Сварка полиэтиленовых труб при помощи горячего воздуха обеспечивает надежность стыкового соединения. Учитывая указанные преимущества полиэтиленовых труб перед стальными трубами, следует предлагать к внедрению эти трубы в первую очередь для строительства в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов.

### **Выводы по первой главе**

1. Опыт строительства и эксплуатации канализационных сетей в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов подтверждает возможность применения мелкозаглубленных канализационных трубопроводов.

2. Выполненный анализ природно-климатических условий г. Кызыл показал, что прокладка канализационных сетей и их эксплуатация ведется в сложных природно-климатических и грунтовых условиях, что обуславливает продолжительные сроки строительства и сложность эксплуатации инженерных систем.

3. Существующая система канализации Кызыла не отвечает возрастающим потребностям города и несет в себе угрозу экологической безопасности, что свидетельствует о необходимости проведения большого объема работ по строительству и реконструкции сетей канализации.

4. Согласно исследованиям, наибольшее количество аварий в городах чаще всего происходит в осенне-весенний период, что объясняется процессами замерзания и оттаивания почв. Главными причинами этого являются проблемы со стыковыми соединениями и деформация трубопроводов, вызванные пучением и просадками грунтов.

5. По проектированию, строительству и эксплуатации канализационных сетей в условиях мёрзлых грунтов накоплен определённый опыт. Однако этот опыт совершенно недостаточно обобщён, что не позволяет дать окончательных рекомендаций по применению тех или иных типов прокладок трубопроводов, конструкций термоизоляции, методов производства работ и т.д. для различных условий строительства.

## **2 НАТУРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

### **2.1 Натурные исследования изменения температуры сточной воды на канализационных выпусках в течение суток**

Большая часть дней в году в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов имеет отрицательную среднесуточную температуру. Поэтому производство работ по прокладке и монтажу канализационных трубопроводов сопряжено с определёнными трудностями. Зимой большие трудности появляются из-за необходимости организации снегозащиты и обогрева людей.

При определении того, какие виды работ следует производить зимой, какие летом, помимо технико-экономических показателей необходимо учитывать, допускается ли оттаивание грунтов в основаниях трубопроводов.

В целях удешевления и ускорения производства работ следует:

- 1) разработать рациональные механизированные способы уплотнения грунтов оснований под прокладки для уменьшения их осадочности и пучения;
- 2) разработать сборные конструкции и освоить выпуск новых машин, которые позволили бы вести разработку мерзлого грунта без применения ручного труда, используя, например, принцип резания мерзлых грунтов.

Стоимость прокладки канализационной сети во многом зависит от глубины заложения трубопроводов. Снижение стоимости таких работ напрямую связано с уменьшением глубины заложения. В районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов [50] уменьшение глубины укладки труб может привести к авариям с перемерзанием труб [59]. Поэтому очень важно на наиболее невыгодном начальном участке сети (канализационном выпуске из здания) назначить такую минимально возможную глубину заложения труб, при которой не произойдет ее перемерзание.

Учитывая, что в Республике Тыва глубина промерзания грунта составляет 3,2 м, а на предполагаемой уменьшенной до 1–2 м глубине заложения

канализационного выпуска температура грунта опускается до минус 4 – минус 8 °С, то основанием для возможного назначения мелкого заложения труб можно считать, что транспортируемые стоки в сравнении с водопроводом имеют значительно более высокую температуру, в среднем от +6 до +20 °С.

В этой связи для определения возможных пределов уменьшения глубины заложения необходимы натурные исследования.

Цель натурных исследований – определение изменения температуры сточной воды на домовых выпусках в зимний период в течение суток.

### 2.1.1 Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования было выбрано общежитие № 3 ФГБОУ ВО ТувГУ, расположенное по адресу: улица Дружбы, 1/1, год постройки здания – 1984, число этажей – 5. На рисунке 2.1 показана схема дворовой канализации общежития № 3.

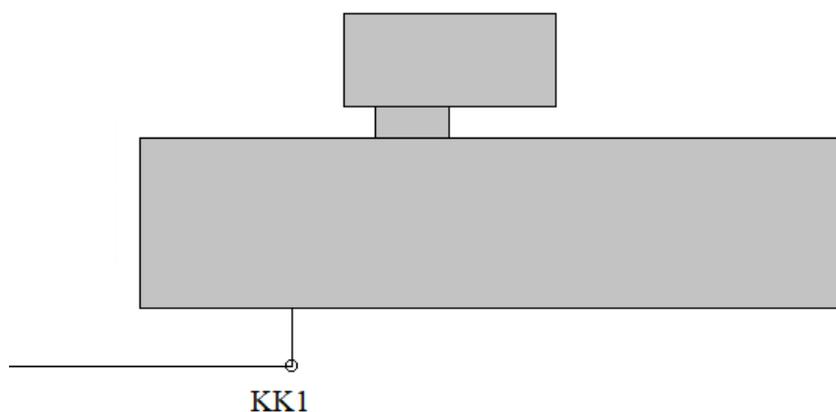


Рисунок 2.1 – Схема дворовой канализации общежития № 3 ФГБОУ ВО ТувГУ

Для исследований был выбран канализационный выпуск КК1, имеющий наименьшую глубину заложения, равную 1,9 м, диаметр – 100 мм и длина – 5 м. Всего в общежитии 86 комнат. План типового этажа приведен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – План типового этажа

Из плана следует, что на одном этаже к канализационному стояку подсоединяется 2 унитаза и 2 мойки. Общее количество санитарных приборов, приходящихся на выпуск, составляет 10 унитазов и 10 моек.

### 2.1.2 Контрольно-измерительные приборы

Для измерения температуры сточной воды на домовых выпусках в зимний период в течение суток применялся тепловизор марки *Testo 872* [65]. Общий вид измерителя представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Тепловизор *Testo 872*

Прибор позволяет измерить температуру воздуха, воды и талой зоны вокруг трубопровода с точностью измерений  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  или  $\pm 2\%$  от показаний. Камера позволяет осуществлять измерения инфракрасного излучения, испускаемого

поверхностью исследуемого объекта, затем преобразуемого в двухмерное изображение, которое характеризует распределение температуры по этой поверхности [65].

Основные технические характеристики прибора составлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики тепловизора *Testo 872*

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Диапазон температур	-30 °С ... +650 °С
2	Базовая погрешность	±2 °С или 2 %
3	Размеры приёмника излучения	320 X 240 пикселей
4	Пространственное решение (IFOV)	2,3 мрад (объектив 42° x 30°)
5	Температурная чувствительность (NETD)	60 мК
6	Частота обновления кадров	9 Гц
7	Фокусировка	Минимально 50 см (фиксированный фокус)
8	Память	Карта памяти Micro SD, встроенная флеш-память
9	Интерфейс	USB, Wi-Fi, bluetooth
10	Источник питания	Батарейное (литиево-ионный аккумулятор)

### 2.1.3 Методика проведения эксперимента и результаты исследований

Натурные исследования проводились в период с 10 февраля по 10 марта 2021 г. Методика проведения эксперимента соответствовала поставленной цели.

Цель натурных исследований – оценка изменения температуры сточных вод в канализационном выпуске в течение суток.

Значения температуры сточной воды фиксировались в наиболее невыгодной удаленной точке выпуска в колодце КК1. Измерения температуры сточной воды на домовом выпуске осуществлялись каждый час в течение суток в будние дни.

Таким образом, измеренная тепловизором температура сточной воды в лотке смотрового колодца КК1 соответствует значению температуры сточной воды в канализационном выпуске [64].

Для оценки динамики изменения температуры сточной воды производился ее замер в подвале (по значению температуры стояка) и на выпуске в колодце КК1.

На рисунке 2.4 представлены натурные измерения изменения температуры сточной воды на домовых выпусках. Измерения осуществлялись каждый час в течение суток в будние дни. При исследовании изменения температуры сточной воды на домовых выпусках в зимнее время использовался тепловизор марки *Testo* 872, который показывает температуру в точке наведения.



Рисунок 2.4 – Измерения температуры сточной воды в лотке колодца КК1

Такая последовательность измерений была выбрана с целью проследить изменение температуры сточной воды на выпусках в течение суток. Глубина заложения выпуска 1,8 м., температура воздуха – минус 23 °С [64].

Таким образом, измеряя тепловизором значения температуры в лотке смотрового колодца, можно считать ее равной температуре стоков в подводящей трубе [64].

Результаты измерений температур сточной воды на домовом выпуске КК1 в выходные дни приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Значения измерений температуры сточной воды в будние дни (февраль 2021 г.)

Время, ч	Значение температуры сточной воды, ° С				
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
6	11,2	10,9	11	9,9	9,5
7	22,3	20,1	21,9	20,1	20,5
8	19,1	18,9	19,3	18,8	18,5
9	16,5	16,8	16,3	16,6	17,6
10	15,5	15	14,9	16	15,1
11	16	16,1	16,2	14,9	14,5
12	15,2	15,5	14,9	16,1	16,5
13	16,5	16,5	17,1	17,4	18,9
14	17,6	18,1	18,1	18,3	19,1
15	16,6	17,3	17,9	18	18,1
16	15,1	16,1	16,3	15,9	17,2
17	15,8	15,1	14	13	13,5
18	17,7	18,3	18,8	19,1	19,6
19	20,3	19,7	19,1	18,9	19,1
20	21,5	18,9	19,5	19,8	20,1
21	20,1	20,4	21	19,9	19,8
22	20,1	18,9	19,1	18,7	19,1
23	18,3	18,1	17,9	17	17
24	15,4	15,2	14,9	14,1	15
1	17,4	18,1	18,3	17,1	17,9
2	13,4	14,2	14,6	13,1	12,9
3	9,5	8,4	8,4	9,9	10,1
4	9,9	10	8,9	10,3	10,9
5	11,2	12,1	13,2	11,9	12,5

По данным таблицы 2.2. составлен график почасового изменения температуры сточной воды в течение суток (рисунок 2.5).

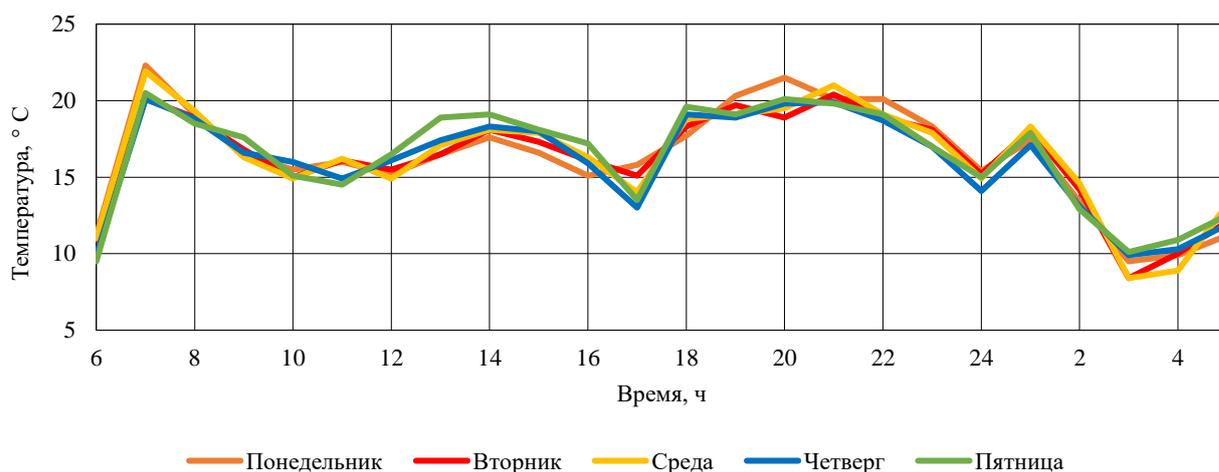


Рисунок 2.5 – Графики изменения температуры сточной воды на канализационном выпуске общежития № 3 ФГБОУ ВО ТувГУ в течение суток

Полученные фактические измерения температуры сточных вод позволяют сделать следующие выводы. Изменение температуры сточной воды в течение суток носит волновой характер и имеет три выраженных пиковых значения: первое приходится на утро (7:00–8:00) – 22,3 °С, на обеденное время (13:00–14:00) – 19,1 °С и на вечер (20:00– 22:00) – 21,5 °С. Форма графика суточной температуры изменяется циклично, ход температуры одного дня недели повторяет температуру другого дня недели. Для этих дней недели пики минимальной и максимальной температур приходятся на одно и тоже время.

Проведенные натурные исследования по определению характера изменения температуры сточных вод на канализационном выпуске в наиболее холодный период года при глубине заложения 1,9 м показали, что температура сточной воды в течение суток находится в пределах от +8,4 ÷ +20,3 °С.

## **2.2 Натурные исследования изменения температуры сточной воды на канализационных выпусках для зданий с разной этажностью в зимний период**

В соответствии с СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» для предотвращения перемерзания воды трубопровод должен прокладываться ниже глубины промерзания грунтов.

В этой связи в районах с глубоким промерзанием грунтов изначально в канализационных выпусках должна приниматься большая глубина заложения, которая по ходу самотечного режима движения стоков возрастает. Это обстоятельство существенно влияет на увеличение стоимости работ по прокладке трубопроводов, а в дальнейшем и при их эксплуатации. Одно из направлений снижения строительной стоимости – это уменьшение глубины заложения канализационного выпуска, т.е. прокладывать трубопровод предлагается в слое мёрзлого грунта, имеющего отрицательную температуру. А чтобы не происходило перемерзания трубопровода, сточная вода должна иметь положительную температуру по всей длине эксплуатируемого трубопровода. Снижение глубины заложения канализационного выпуска определяется на основе теплотехнического расчета с учётом значений температуры сточной жидкости, отводимой от здания. Поэтому очень важно знать фактическое значение температуры сточной воды на канализационном выпуске.

Для экспериментальной оценки величины и изменения значений температуры сточной воды в канализационных выпусках выбран наиболее неблагоприятный зимний период года, характеризующийся низкими температурами воздуха и грунта.

Цель эксперимента – исследование изменения температуры сточной воды на канализационных выпусках в течение суток в жилых домах в зимний период.

Здания выбраны разной этажности и степени благоустройства с целью определения влияния этажности на значения температуры сточной воды на канализационном выпуске. Температура сточной воды измерялась тепловизором. Измерения проводились сначала в подвале здания на стояке, а затем в конце выпуска в дворовом колодце. В ходе эксперимента определялась температура воздуха, температура сточной воды, глубина заложения.

Для натурных исследований были выбраны два объекта. Натурные исследования проводились в г. Кызыле в январе 2023 года на канализационных выпусках жилых зданий. Первый объект – двухэтажный жилой дом № 60 по улице Кочетова в центральном районе города. Второй объект – пятиэтажный жилой дом

№ 102 по ул. Красноармейская. На рисунке 2.6 представлены объекты натуральных исследований.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Объекты натуральных исследований, расположенные на ул. Кочетова д. 60 а) и ул. Красноармейская д. 102 б)

*1 объект. Жилой двухэтажный дом 60 по ул. Кочетова построен в 1953 году. Дом имеет 2 подъезда.*

На рисунке 2.7 представлен канализационный стояк и выпуск в подвале.

Измерения осуществлялись каждый час в течение суток.



а) фото выпуска в подвале

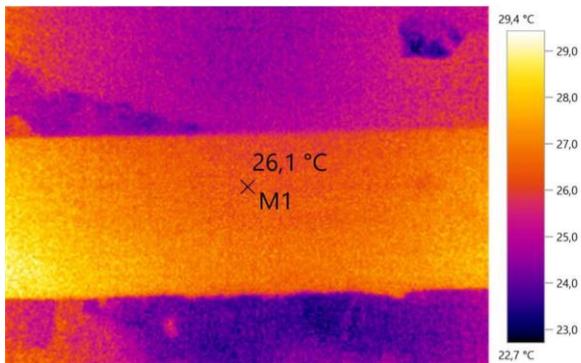


б) фото стояка в подвале

Рисунок 2.7 – Фотографии канализационного стояка и выпуска в подвале

В качестве основного прибора для измерения температуры сточной воды на домовых выпусках в зимнее время использовался тепловизор марки *Testo 872* с точностью измерений  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  или  $\pm 2\%$ , который показывает температуру в точке

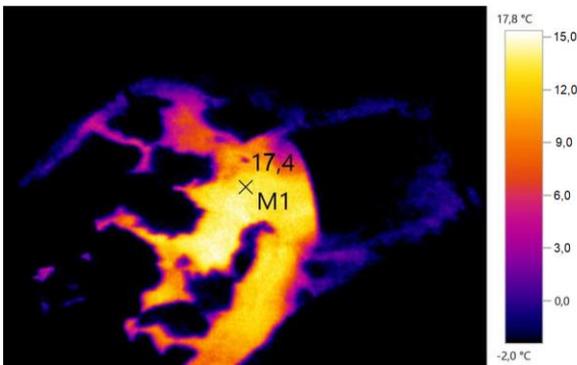
наведения. На рисунке 2.8 представлен замер температуры сточной воды на выпуске в подвале и в колодце.



а) в подвале



б) фото выпуска в подвале



а) в колодце



б) фото выпуска в колодце

Рисунок 2.8 – Температура сточной воды: в подвале; б) на выпуске

На рисунке 2.9 показан натурное измерение температуры сточной воды, проведенный в 14:00 ч 13 января 2023 г.



Рисунок 2.9 – Натурное измерение температуры сточной воды в колодце

Глубина заложения выпуска 1,8 м., температура наружного воздуха на момент проведения эксперимента составляла минус 37°С. В таблице 2.3 приведены выборочные значения температур сточной воды на выпуске двухэтажного жилого дома для характерных периодов суток.

Таблица 2.3– Результаты натурных измерений в зимнее время (13.01.2023)

Время замера, ч	Температура сточной воды, °С	
	выпуск в подвале	колодец КК
7:00	23,9	13,9
14:00	26,1	17,4
18:00	22,9	12,9
24:00:00	15,9	10,4

Как видно из таблицы, средняя температура сточной воды на выпуске колеблется от 15,9° С до 26,1° С, а в дворовом колодце с 10,4 до 17,4. По данным таблицы 1 составлен график почасового изменения температуры сточной воды в течение дня (рисунок 2.10).

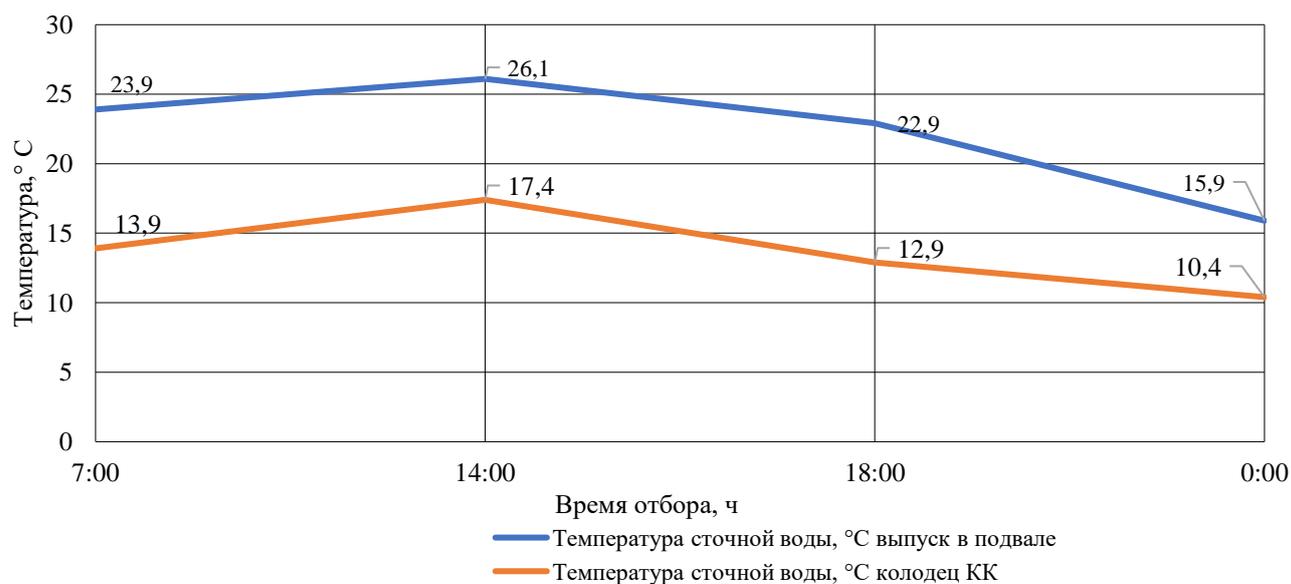


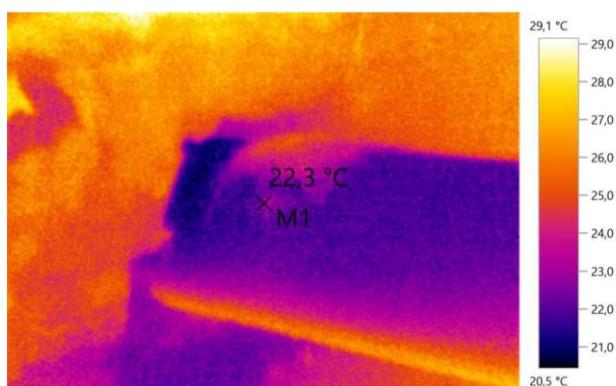
Рисунок 2.10 – Графики изменения температуры сточной воды на канализационном выпуске двухэтажного жилого дома (январь 2023 г.).

Как видно из таблицы и графика температура сточной воды достаточно высокая, чтобы можно было уложить трубу в толще мерзлого грунта.

*2 объект. Многоквартирный жилой кирпичный шестиподъездный дом 102 по ул. Красноармейская построен в 1984 году. Время 14:40 мин.*

На рисунке 2.11 представлен канализационный стояк в подвале и выпуск. Измерения осуществлялись каждый час в течение суток. Методика проведения эксперимента аналогична предыдущему опыту.

Установлено, что температура сточной воды на канализационном выпуске в подвале составляла 22,3 °С.



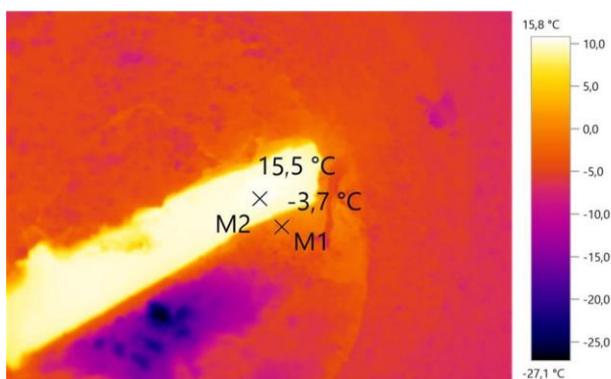
а) Температура сточной воды выпуска в подвале



б) Фото выпуска

Рисунок 2.11 – Температура сточной воды в подвале на выпуске

На рисунке 2.12 представлены фотографии тепловизора со значением температур сточной воды в колодце. Установлено, что температура сточной воды в колодце составляла 15,5 °С.



а) Температура сточной воды в колодце



б) Фото сточной воды в колодце

Рисунок 2.12 – Натурные измерения температуры сточной воды в лотке колодцев

Измерения проведены 13 января 2023 г. Результаты измерений представлены в таблице 2.4. Температура наружного воздуха составляла минус 37 °С.

Данные натурных исследований в виде таблиц и графиков приведены ниже.

Таблица 2.4 – Результаты натурных измерений в зимнее время

Время измерения, ч	Температура сточной воды, °С	
	Выпуск в подвале	Колодец КК
7:00	22,9	16,2
14:00	22,3	15,5
18:00	20,8	17,1
24:00:00	16,1	14,4

По данным таблицы 2.4 составлен график изменения температуры сточной воды в характерные часы суток (рисунок 2.13).

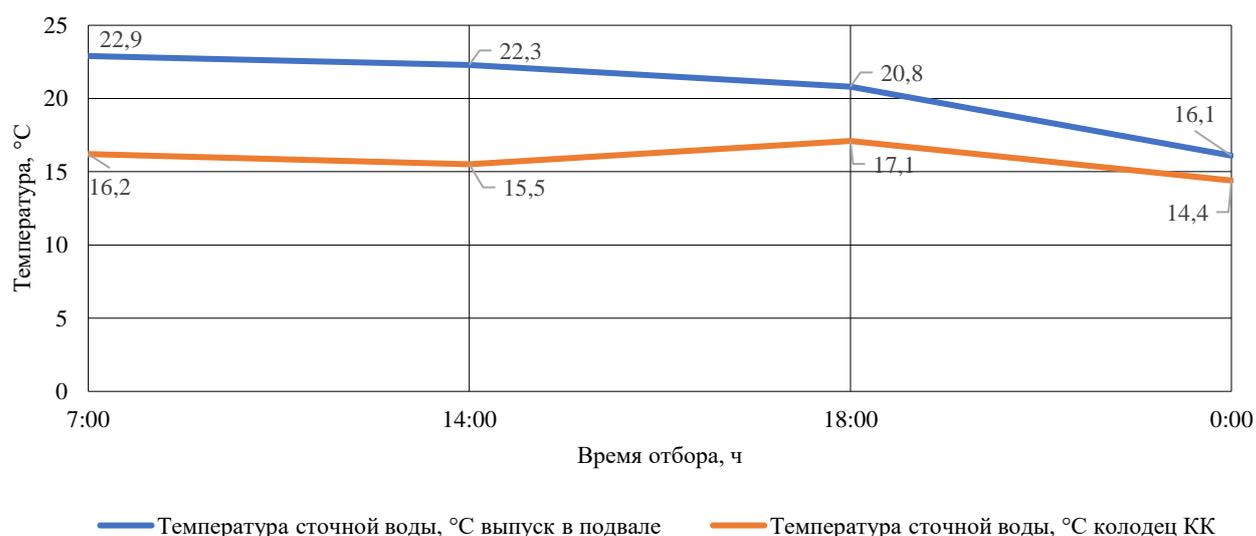


Рисунок 2.13 – Графики изменения температуры сточной воды на канализационном выпуске пятиэтажного жилого дома (13 января 2023 г.).

Полученные натурные измерения температуры сточных вод на действующих жилых зданиях позволяют сделать следующие выводы. Температура сточной воды в течение суток на выпуске в подвале изменяется от 15,9° С до 26,1° С, а в ближайшем смотровом колодце колеблется от 10,4°С до 17,4° С, причем для зданий

повышенной этажности температура воды выше в среднем на  $2,7^{\circ}\text{C}$ . Достаточно высокие значения температуры сточной воды на выпуске дают основания для уменьшения глубины заложения в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов.

Проведенные натурные исследования по определению характера изменения температуры сточных вод на канализационном выпуске в жилых зданиях наиболее холодный период года при глубине заложения 1,8 м показали, что температура сточной воды в течение суток находится в пределах от  $+10,4 \div +26,1^{\circ}\text{C}$ .

### **2.3 Натурные исследования теплового режима на действующих системах канализации г. Кызыл в зимнее время**

Для решения этой задачи необходимо организовать на ряде действующих канализационных сетей в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов наблюдения за работой эксплуатируемых канализационных сетей и построить специальные опытные участки для исследования температурного режима трубопроводов<sup>2</sup>.

В процессе экспериментальных исследований велись наблюдения за изменением температуры по длине трубопровода и динамикой температуры сточной жидкости трубопровода на разных участках.

При прокладке канализационных трубопроводов мелкого заложения в условиях глубокого сезонного промерзания грунта возникает опасность промерзания трубопроводов, т.к. они располагаются в грунте с отрицательной температурой. Значения температуры грунта в зоне прокладки трубопроводов в среднем находится в пределах от  $-4$  до  $-8^{\circ}\text{C}$  [64].

Основанием для возможного назначения мелкого заложения труб можно считать то, что транспортируемые стоки в сравнении с водопроводом имеют

---

<sup>2</sup> По результатам проведенного исследования автором опубликована статья: Майны, Ш. Б. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период / Ш. Б Майны, Л. Д. Терехов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 12. – С. 42-47.

значительно более высокую температуру, в среднем от +6 до +20°C и более. В Республике Тыва глубина промерзания грунта составляет 3,2 м. В канализационной сети Кызыла есть несколько экспериментальных участков канализационных выпусков, уложенных с меньшей глубиной заложения, около 2 м. На этой глубине температура грунта зимой имеет отрицательные значения от –4 до –6 °С [65].

Целью натуральных исследований теплового режима канализационных трубопроводов являлось определение изменения температуры сточной жидкости на действующей канализационной сети в зимний период по всей длине исследуемого участка [64] в течение суток.

При условии нормальной эксплуатации считается, что температурный режим в самих сетях и в колодцах примерно одинаковый. Однако в самом колодце показатели температуры должны быть несколько ниже, чем в трубопроводе, что можно аргументировать инфильтрацией холодного воздуха через крышку колодца. Таким образом, с определённой долей запаса можно полагать, что температура в канализационной сети имеет такое же значение, как и в колодце.

При движении тёплых стоков по трубопроводу происходит определенный прогрев самой трубы и смотрового колодца. Причем с небольшим допуском можно считать, что температура трубопровода и температура в лотке смотрового колодца одинаковая [64].

Исследования по изучению изменения теплового режима канализационной сети проводились в феврале 2019 г. – в период, соответствующий наиболее низким температурам грунта [64].

В качестве объекта натуральных исследований теплового режима на действующих системах канализации был выбран участок восточного района с централизованными системами водоснабжения и водоотведения [64] (рис. 2.14).

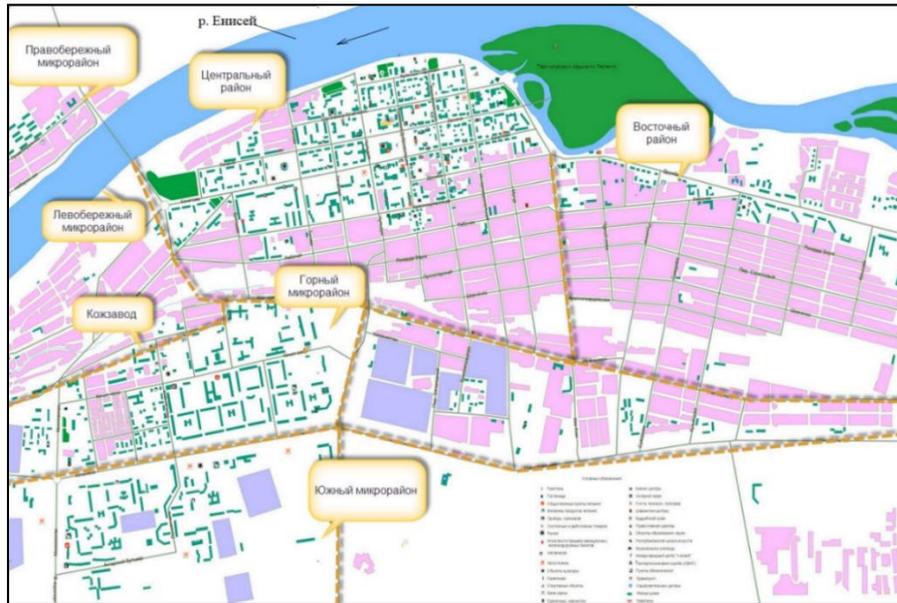


Рисунок 2.14 – Карта микрорайонов г. Кызыл

Более подробно канализационная сеть восточного района представлена на рисунке 2.15. Исследуемый участок сети является экспериментальным, так как канализационный выпуск из здания проложен в слое мёрзлого грунта на глубине 1,8 м. На этом участке изначально запроектированы и заложены 4 колодца.



Рисунок 2.15 – План исследуемого участка канализационной сети в Кызыле

Основные сведения по изучаемой трассе сети приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Основные данные по изучаемой трассе сети

Участок сети	Температура воздуха, °С	Расстояние между участками, м	Глубина заложения, м
Выпуск – КК1	-23	3	1,8
КК1-КК2	-23	39	1,9
КК2-СК3	-23	123	2,2
СК3-СК4	-23	210	2,7

На рисунке 2.16 представлены натурные измерения изменения температуры жидкости на действующей канализационной сети на разных участках. Измерения температуры канализационных стоков в лотке осуществлялись последовательно: с 7:00 ч. утра в первом колодце КК1, через 4 мин. на втором колодце КК2, затем снимали измерения через 6 мин. в третьем колодце СК3 и через 10 мин. в СК4. Такая последовательность измерений была выбрана с целью проследить изменение температуры потока сточной воды по длине исследуемой трассы.



Рисунок 2.16 – Натурные измерения температуры сточной воды в лотке колодцев

Измерения тепловизором температуру сточных вод внутри колодца последовательно по ходу движения сточной воды позволили проследить изменение температуры транспортируемых сточных вод на участке канализационной сети в различные периоды суток.

Натурные исследования по длине участка проводились в течение суток через каждые 2-6 час. При этом измерялись и фиксировались следующие параметры: температура воздуха, температура сточной воды и глубина заложения колодцев.

Как уже отмечалось, сначала определяли температуру сточной воды на выпуске из зданий КК1, затем в КК2 и так далее последовательно в остальных колодцах исследуемой трассы.

На рисунке 2.17 представлены фотографии тепловизора со значением температур сточной воды в отдельных колодцах в ночное время начиная с 1 ч. Установлено, что температура сточной воды на выпуске в колодце КК1 составляла 21,9 °С на выпуске в колодце КК2 19,1 °С на дворовой сети КК2 17,3°С и на уличной сети КК3 8,1 °С [64]

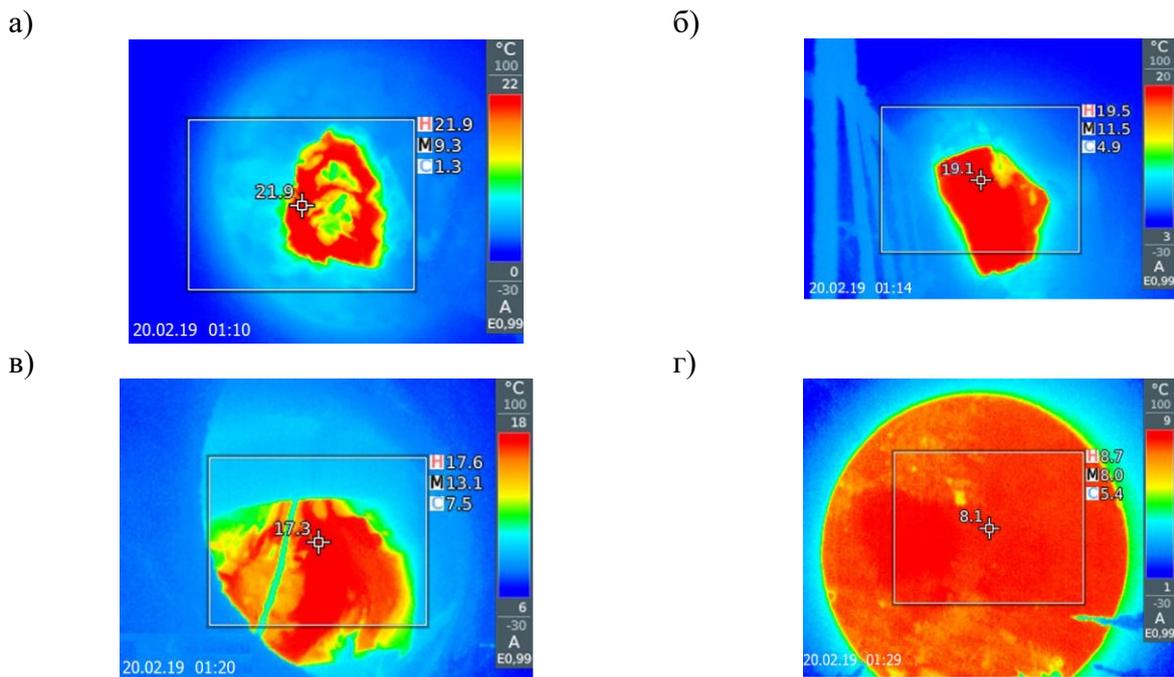


Рисунок 2.17 – Температура сточной воды внутри колодцев по трассе канализационной сети в ночное время: а) КК1; б) КК2; в) СК3; г) СК4

Результаты измерений температур сточной воды действующей системы канализации в зимний период на разных участках в различные периоды суток приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Температуры сточной воды в зимнее время на разных участках канализационной сети

Время замера, ч	Температура сточной воды, °С			
	выпуск КК1	выпуск КК2	дворовая сеть СК3	уличная сеть СК4
7:00	22,8	19,3	16,2	9,8
13:00	17,9	15,1	14,8	6,8
18:00	22,3	19,7	18,4	7,9
1:00	21,9	19,1	17,3	8,1
5:00	13,4	11,4	10,2	5,6

По данным таблицы 2.6 составлен график изменения температуры сточной воды в отдельные часы суток для рассматриваемой трассы. Результаты измерений температур сточной воды по длине действующей системы канализации в зимний период на разных участках в различные периоды суток [64] представлены на рисунке 2.18.

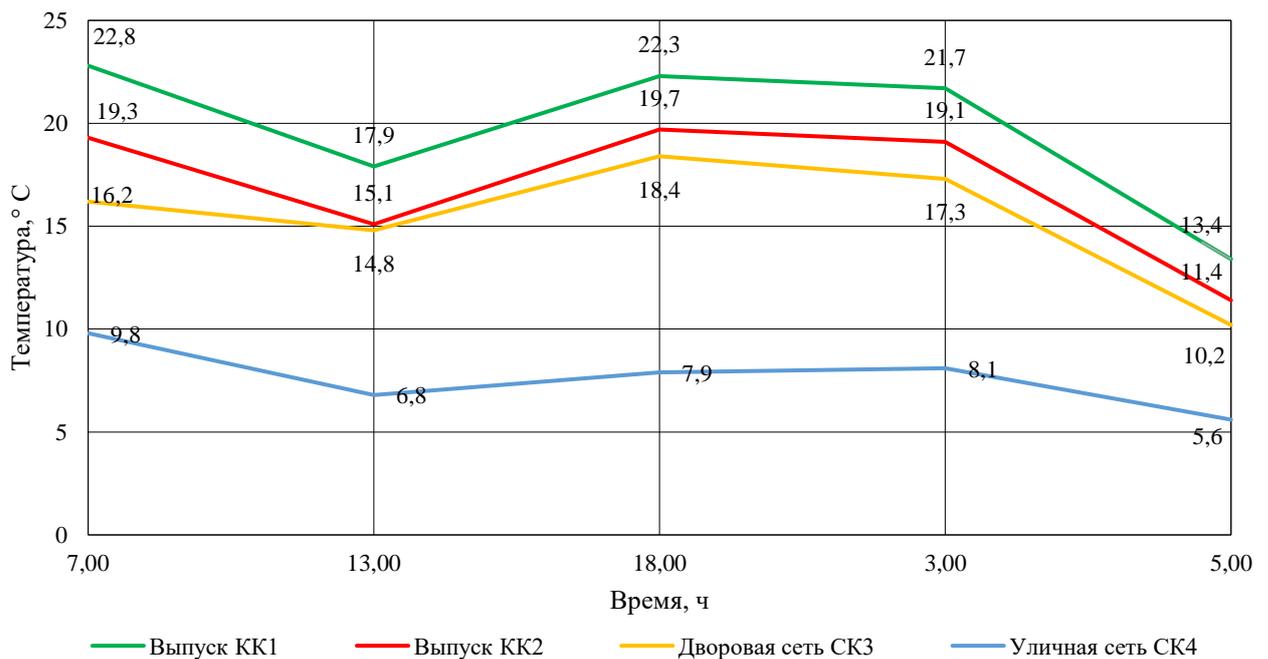


Рисунок 2.18 – Зависимость температуры сточной воды от времени суток на действующей системе канализации на разных участках

Из графика следует, что в колодцах КК1 и КК2 температура сточных вод достаточно высокая и в течение суток она меняется в пределах 22,8–13,4 °С, на дворовой канализации она снижается от 16,2 до 10,2 °С и на уличной от 9,8 до 5,6 °С.

Полученные фактические измерения температуры сточных вод позволяют сделать следующие предположения. Исследуемый участок проложен в слое мёрзлого грунта, однако температура сточных вод имеет довольно высокое значение в конечной точке СК4 от 5,6 до 9,8 °С, поэтому глубину заложения трубопровода на начальном участке можно уменьшить [64] от 1,8 до 1,5 м. Результаты измерений температуры сточных вод на действующей канализационной сети по длине участка приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты измерений температуры сточных вод на действующей канализационной сети по длине участка

Участок	Диаметр, мм	Глубина заложения, м	Температура грунта, °С	Длина участка, м	Средняя температура сточной воды, °С
Время замера 5:00					
<i>Движение воды с полным заполнением, <math>h/d = 1</math></i>					
Выпуск – КК1	100	1,8	–2,45	3	12,4
КК1 – КК2	100	1,9	–4	39	12,4
КК2 – СК3	150	2,2	–3,6	123	10,8
СК3 – СК4	200	2,7	–2,1	210	7,9
<i>Движение воды с неполным заполнением, <math>h/d = 0,5</math></i>					
Выпуск – КК1	100	1,8	–2,45	3	12,4
КК1 – КК2	100	1,9	–4	39	12,4
КК2 – СК3	150	2,2	–3,6	123	10,8
СК3 – СК4	200	2,7	–2,1	210	7,9
<i>Движение воды с неполным заполнением, <math>h/d = 0,1</math></i>					
КК – КК1	100	1,8	–2,45	3	12,4
КК1 – КК2	100	1,9	–4	39	12,4
КК2 – СК3	150	2,2	–3,6	123	10,8
СК3 – СК4	200	2,7	–2,1	210	7,9
Время замера 7:00					
<i>Движение воды с полным заполнением, <math>h/d = 1</math></i>					
Выпуск – КК1	100	2,5	–2,45	3	21,1
КК1 – КК2	100	2,5	–4	39	21,1
КК2 – СК3	150	2,2	–3,6	123	17,8
СК3 – СК4	200	2,7	–2,1	210	13
<i>Движение воды с неполным заполнением, <math>h/d = 0,5</math></i>					
Выпуск – КК1	100	1,8	–2,45	3	21,1
КК1 – КК2	100	1,9	–4	39	21,1

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3	4	5	6
КК2 – СК3	150	2,2	–3,6	123	17,8
СК3 – СК4	200	2,7	–2,1	210	13
<i>Движение воды с неполным заполнением, <math>h/d = 0,1</math></i>					
КК – КК1	100	1,8	–2,45	3	21,1
КК1 – КК2	100	1,9	–4,0	39	21,1
КК2 – СК3	150	2,2	–3	123	17,8
СК3 – СК4	200	2,7	–2,1	210	13

Средняя температура сточной воды, поступающей в начальный участок сети в течение суток, колеблется от 12,4 до 21,1 °С. В дальнейшем при движении по трассе и при подходе к конечной точке температура понижается до 7,9 С [64]. Сравнение значений температур, полученных экспериментальным путем с расчётными, показало хорошую сходимость в пределах 5 % [64].

#### **2.4 Экспериментальные исследования динамики изменения талика вокруг канализационных трубопроводов в лабораторных условиях**

В районах распространения сезоннопромерзающих грунтов почти все подземные коммуникации значительную часть года находятся в мерзлых грунтах<sup>3</sup>. Следовательно, возникают более сложные задачи предохранения жидкости от замерзания, чем в обычных условиях. Эти задачи могут быть успешно решены лишь при помощи достаточно обоснованных и надежных методов теплового расчета. В настоящее время наиболее совершенные методы теплового расчета разработаны для напорных трубопроводов. Менее всего изучены особенности теплового взаимодействия с мерзлыми грунтами трубопроводов с неполным заполнением, для которых до сих пор еще не разработана специальная методика теплового расчета.

При движении воды по трубам, уложенным в мёрзлый грунт, вокруг трубопровода образуется область талого грунта (талика). От размеров и формы этой

<sup>3</sup> По результатам проведенного исследования автором опубликована статья: Майны, Ш. Б. Экспериментальное исследование оттаивание грунта вокруг канализационных трубопроводов мелкого заложения в зимнее время / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов, Н. А. Черников // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 4 (80). – С. 71-78.

области зависят эксплуатационные характеристики трубопровода в зимний период. Чем больше талик, тем выше надёжность трубопровода от перемерзания, так как у службы эксплуатации больше времени для выполнения специальных мероприятий по защите трубопровода от перемерзания. За счет теплового влияния трубопроводов на образование талика можно значительно уменьшить глубину заложения трубопроводов [65].

Цель экспериментальных исследований заключается в установлении размеров талика при пропуске по трубопроводу, уложенному в мёрзлый грунт, тёплой воды полным сечением и со степенью [65] наполнения трубопровода, равной 0,5.

Прежде всего оценивалось тепловое состояние канализационных трубопроводов мелкого заложения на действующей системе канализации, а также проводились более детальные исследования тепловых режимов трубопроводов в лабораторных условиях.

#### 2.4.1 Обоснование выбора вида грунта для проведения эксперимента

Для выбора вида мёрзлого грунта, используемого в эксперименте, были проведены теплотехнические расчеты по определению размеров талика в разных видах грунта (суглинок, супесь и песок). Размеры талика обуславливаются природно-климатическими условиями и теплофизическими свойствами грунта.

В таблице 2.8 представлены основные теплофизические характеристики грунтов по пособию [84].

Таблица 2.8 – Основные теплофизические характеристики грунтов [84].

Вид грунта	Теплопроводность талого грунта, $\lambda_T$ Вт/(м·К)	Теплопроводность мёрзлого грунта, $\lambda_M$ Вт/(м·К)	Удельная теплоёмкость талого грунта, $C_T$ , Дж/(кг·К)	Удельная теплоёмкость мёрзлого грунта, $C_M$ , Дж/(кг·К)
Суглинки	0,87	0,99	2184	1764
Супеси	1,05	1,28	2184	1764
Пески	1,39	1,62	2184	1764

Расчёты размеров талика проводились по методике профессора Порхаева Г.В. [84]. В качестве исходных данных применялись следующие параметры: диаметр трубы – 100 мм, температура грунта - 6 °С, температура воды 10 °С и степень наполнения – 0,5.

Результаты проведенных расчётов сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты проведенных расчетов

№ п/п	Вид грунта	Диаметр трубы, $d$ , мм	Температура грунта, $t_r$ , °С	Температура воды, $t_v$ , °С	Размер зоны талика,	
					над трубой, мм	под трубой, мм
1	Суглинки	100	-6	10	5	9
2	Супесь		-6	10	7	12
3	Песок		-6	10	9	15

Как следует из таблицы 2.9 при прочих равных условиях размеры талика оказались наибольшими для песка. Таким образом, песок оказался наиболее чувствительным на изменения тепловых режимов. Поэтому для эксперимента был выбран песок.

#### 2.4.2 Экспериментальная установка

Экспериментальное исследование динамики изменения талика вокруг канализационных трубопроводов изучалось на базе учебной лаборатории Тувинского государственного университета [65].

Исследование было продолжено на экспериментальной установке. Установка представляла собой монолитный блок из мёрзлого грунта из песка с размерами 315×222×270 мм, внутри которого укладывался трубопровод диаметром 20 мм. В качестве грунта использовался песок. Грунт вместе с трубой помещался в картонную коробку, уплотнялся, затем промораживался в морозильной камере в течение суток, после чего заносился в помещение [65], где проводились исследования. Здесь к трубопроводу присоединялись шланги, по которым из бака пропускалась подогретая вода (+40, +20, +1 °С). Необходимая температура воды в

баке поддерживалась с помощью электрического нагревателя. Расход, проходящий по трубопроводу воды, определялся объёмным способом. Общий вид установки представлен на [65] рисунке 2.19.

В процессе экспериментальных исследований велись наблюдения за изменением динамикой температурного поля вокруг трубопровода и распределением температуры внутри трубы как в теплоносителе.



Рисунок 2.19 – Лабораторная экспериментальная установка: 1 – блок мёрзлого грунта из песка; 2 – трубопровод; 3 – бак с погружным насосом; 4 – подающий шланг; 5 – отводящий шланг

Эксперимент проводился в зимний период 2019 года. Температурный режим в подвальном помещении в период проведения опытов поддерживался в пределах  $-3...-6^{\circ}\text{C}$ . Температуру воды и окружающего воздуха определяли с помощью электрическим термометром и дублировалась стеклянным термометром [65].

Движение воды происходило по замкнутому циклу: бак (резервуар)  $\rightarrow$  насос  $\rightarrow$  шланг  $\rightarrow$  трубопровод  $\rightarrow$  блок мёрзлого грунта  $\rightarrow$  резервуар.

Схема лабораторной экспериментальной установки приведена на рисунке 2.20.

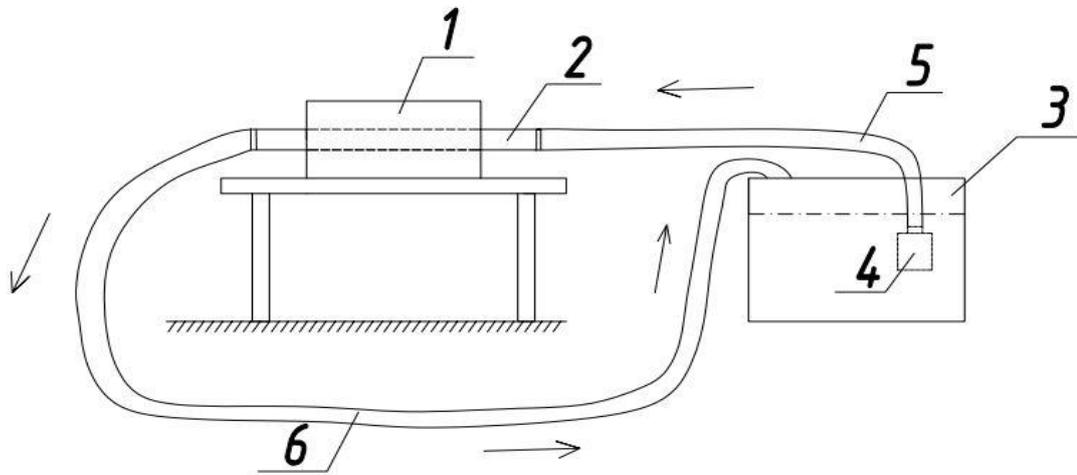


Рисунок 2.20 – Схема экспериментальной установки:  
1 – блок мёрзлого грунта; 2 – трубопровод; 3 – бак; 4 – насос; 5 – подающий шланг;  
6 – отводящий шланг

Измерение тепловых параметров осуществлялось с помощью тепловизора марки *Testo 872*.

Прибор обладает высокой чувствительностью и позволяет фиксировать тепловую картину, происходящую в мёрзлом грунте при пропуске по трубопроводу тёплой воды с разной температурой.

С помощью прибора удастся получить термограммы высокого качества, по которым определяется форма, размер талика и температура грунта.

### 2.4.3 Планирование и методика проведения эксперимента

Целью экспериментальных исследований теплового режима канализационных трубопроводов мелкого заложения в зимнее время является изучение тепловой картины мёрзлого грунта при пропуске по трубопроводу воды с разной температурой (+40, +20, +1 °С), с различной степенью наполнения трубы и определение размеров зоны оттаивания грунта вокруг трубопровода.

На основе метеорологических данных для территории Кызыла глубина промерзания грунта составляет 3,2 м. При глубине прокладки трубопровода 2 м

температура грунта на этом уровне находится в пределах от  $-4$  до  $-6$  °С, поэтому температура исследуемого мёрзлого грунта в эксперименте назначена  $-4$  °С [65].

По результатам разовых измерений установлено, что температура сточной воды на выпусках из зданий находится в пределах  $8,4...23$  °С, поэтому в эксперименте для более полного учёта возможных условий работы трубопровода принято значение температуры воды  $40, 20$  и  $1$  °С.

Величина образующегося вокруг трубопровода талика зависит от температуры транспортируемой воды, степени наполнения трубопровода и температуры грунта. В эксперименте принимаем движение воды полным сечением со степенью заполнения трубопровода  $h/d = 0,5$ , (здесь  $h$  – высота слоя воды в трубопроводе, а  $d$  – диаметр трубопровода).

Было проведено в две серии опытов: первая – для полного заполнения трубопровода при  $h/d = 1$ , вторая – неполного заполнения  $h/d = 0,5$  [65].

Схема проведения опытов приведена в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Основные параметры при проведении опытов

Номер опыта	Движения воды полным сечением, $h/d = 1$	
	Температура грунта, °С	Температура воды, °С
1	-4	40
2		20
3		1
	Движения воды с заполнением $h/d = 0,5$	
4	-4	40
5		20
6		1

Методика проведения эксперимента соответствовала поставленной цели. Цель экспериментальных исследований заключалась в изучении степени оттаивания мёрзлого грунта при транспортировании воды по трубопроводу с разной температурой (в трех температурных режимах) и с различной степенью наполнения трубопровода.

Было проведено шесть серий опытов, в которых отслеживалось изменение температуры и размера талой зоны во времени.

### 2.4.4 Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Продолжительность проведения одного опыта составляла в среднем от 20 до 30 мин до стабилизации размеров ореола оттаивания грунта вокруг трубопровода. Через определенные промежутки времени тепловизором снимались и записывались термограммы, на основе которых определялись значения температуры и размеры талой зоны вокруг трубопровода [65].

На рисунке 2.21 приведены термограммы теплового состояния грунта для шести серий опытов, и каждая серия проводилась для двух значений  $h/d$ .

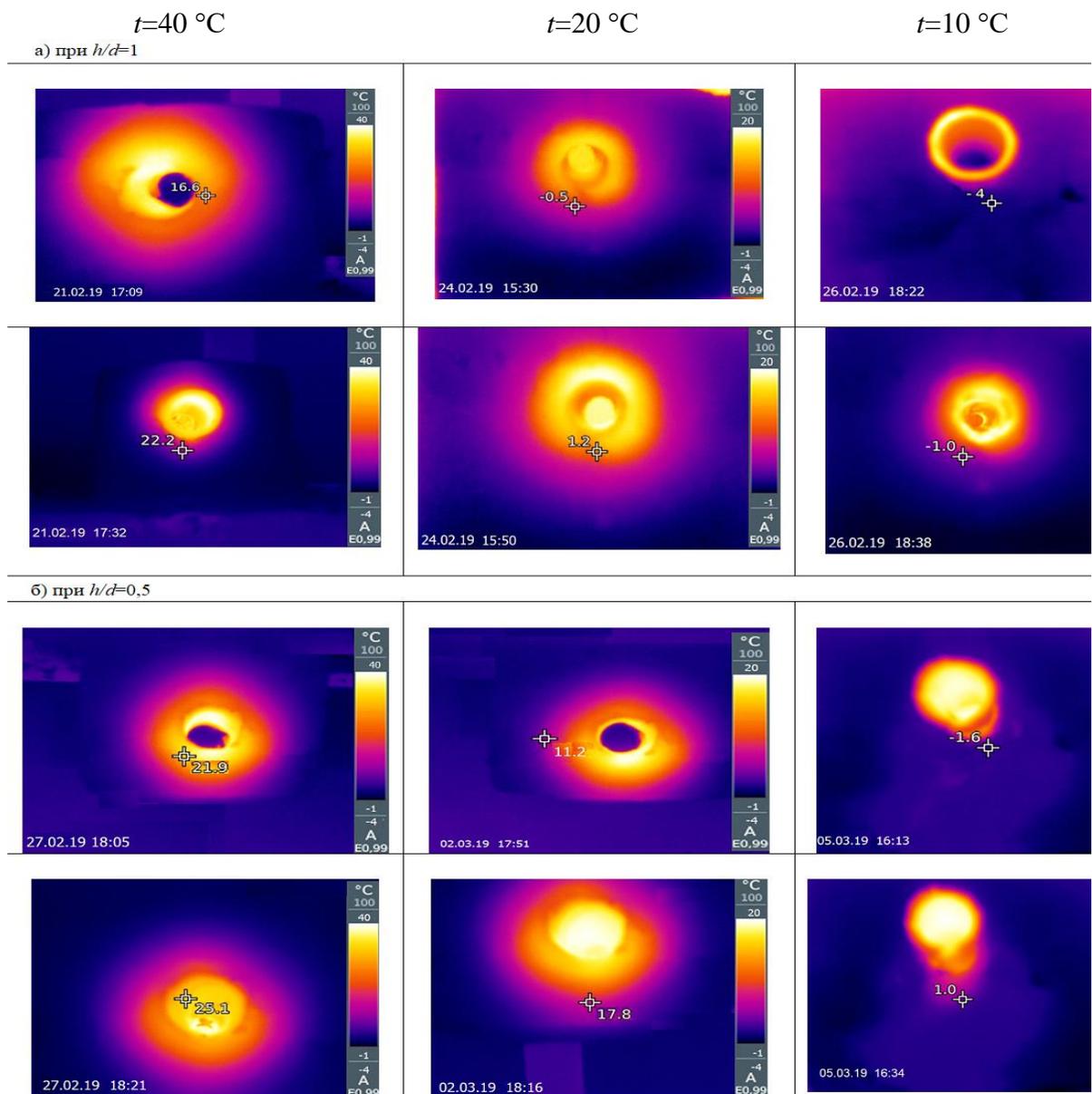


Рисунок 2.21 – Термограммы опытов при различных температурах воды и  $h/d = 1$  (а),  $h/d=0,5$  (б)

Из рисунка 2.21, а видно, что при полном заполнении водой трубопровода талик имеет форму круга, аналогично [65]. На рисунке 2.21, б форма талика заметно отличается и имеет грушеобразную форму.

После проведения серии опытов был отмечен ожидаемый результат: при температуре воды  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  размеры талой зоны вокруг трубопровода имеют больший размер, чем при подаваемой в трубопровод воды с температурой  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и тем более при температуре, равной  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Изображение талика, образующегося вокруг трубы, при проведении опытов показано на рисунке 2.22.



Рисунок 2.22 – Внешний вид талика, полученного на экспериментальной установке

Схема, поясняющая параметры ореола протаивания вокруг трубы, уложенной в мёрзлом грунте, представлена на рисунке 2.23.

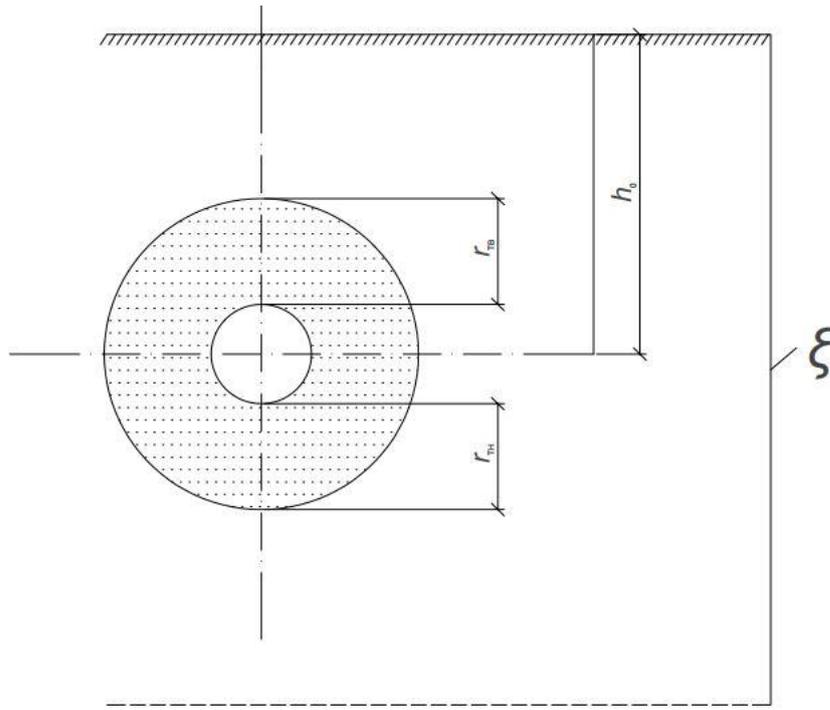
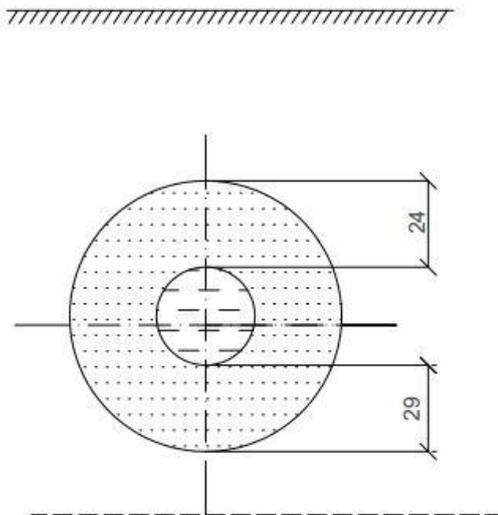


Рисунок 2.23 – Схема ореола протаивания вокруг трубы

Для наглядности представлены схемы таликов с размерами, полученными для опыта 2 по эксперименту (рисунок 2.24, а) и по расчётным значениям, выполненными по методике профессора Г. В. Порхаева [93] (рисунок 2.24, б) при движении воды с полным заполнением  $h/d = 1$ .

а)



б)

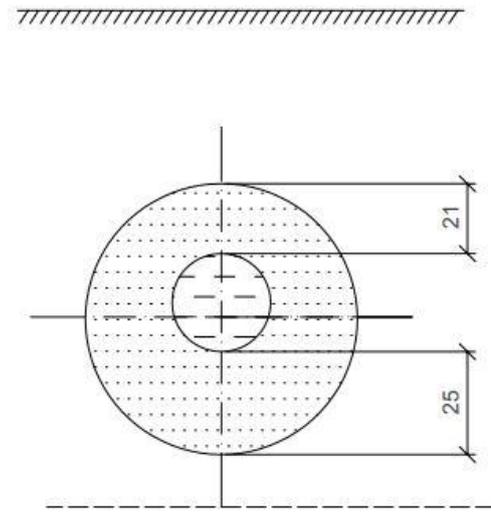


Рисунок 2.24 – Схемы талика для опыта 2 при  $h/d = 1$ :  
а) по эксперименту; б) по расчётным значениям

Для опыта 5 при тех же параметрах схемы талика приведены на рисунке 2.25.

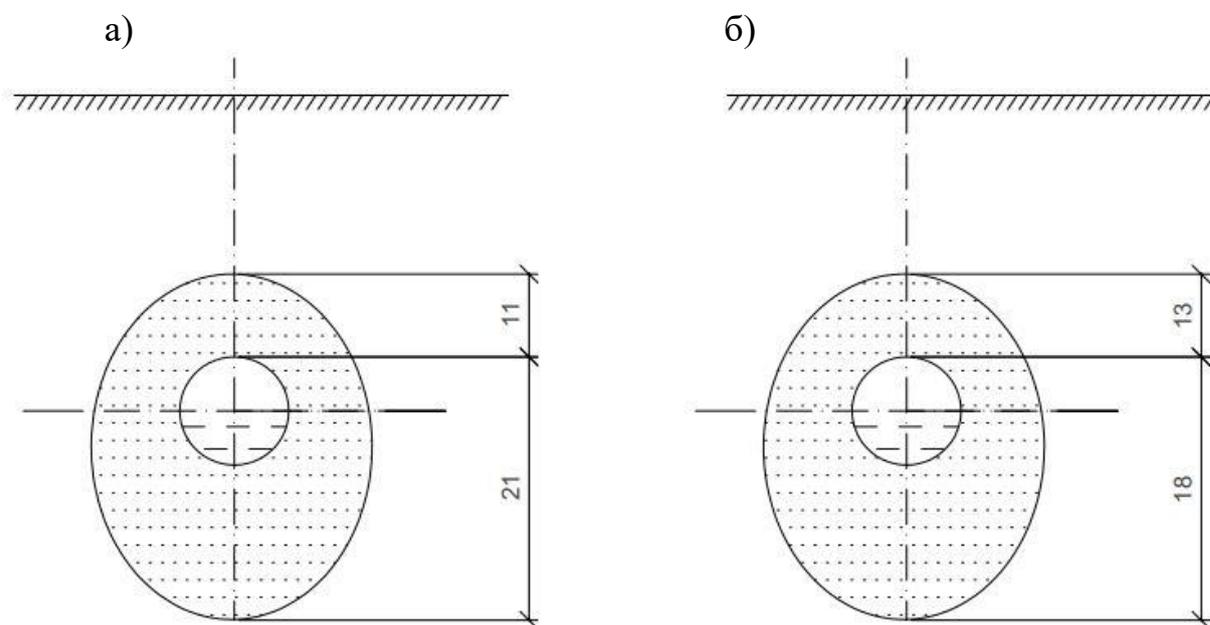


Рисунок 2.25 – Схемы таликов для опыта 5 при  $h/d = 0,5$ :  
а) по эксперименту б) по расчётным значениям

## 2.5 Определение размера талика по методике профессора Г. В. Порхаева

Теплотехнические расчёты трубопроводов, уложенных в мёрзлый грунт, чрезвычайно трудны. Основные затруднения возникают при определении термических констант грунтов и теплоизоляционных материалов в зависимости от влажности и температуры среды, а также при установлении температурного режима грунта в зависимости от климатических и гидрогеологических факторов. Теплотехнические расчёты трубопроводов с нестационарными режимами течения воды совершенно не разработаны. Имеющиеся наблюдения за температурой воды в отдельных участках трубопроводов в большинстве случаев не позволяют сделать каких-либо определённых выводов или рекомендаций по существу методов расчёта. Приближенный характер применяемых методов теплотехнических расчётов трубопроводов и их невысокая точность не позволяет уверенно и экономично проектировать трубопроводы.

Перед научно-исследовательскими и проектными институтами стоит задача разработать более простые и более точные методы теплотехнических расчётов трубопроводов, прокладываемых в грунте, а также разработать простую методику производства изысканий по трассе трубопроводов, обеспечивающую получение данных, необходимых для выполнения теплотехнических расчётов.

Для подтверждения этого предположения был выполнен теплотехнический расчёт на основе полученных экспериментальным путем значений температуры сточных вод. Расчёт проводился по методике профессора В. Г. Порхаева [84].

Характерные размеры талика определялись по известным аналитическим зависимостям.

Радиус зоны талого грунта сверху трубы  $r_{ТВ}$  определяется по формуле (2.1)

$$r_{ТВ} = h_0(1 - y^1) + r_u, \quad (2.1)$$

где  $h_0$  – глубина заложения трубы, м;

$y^1$  – координата, определяемая по левой ветви кривой  $x_1 = 0$  номограммы [7, рисунок 11, а] по значению коэффициента,  $f_1$ , вычисленного по формуле (2.2):

$$f_1 = \frac{(\zeta + \frac{t_{III}}{t_B} h_0 - 1) \lambda_M t_B f_2}{(\zeta - h_0) \lambda_M t_B - (\zeta - s_c) \lambda_T t_{III}}, \quad (2.2)$$

где  $\zeta$  – глубина промерзания грунта, м;

$r_u$  – внешний радиус теплоизоляции трубы, м;

$t_{III}$  – температура поверхности трубы, °С;

$\lambda_M$  – коэффициент теплопроводности грунта в мёрзлом состоянии, Вт/(м·К);

$\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности грунта в талом состоянии, Вт/(м·К);

$s_c$  – толщина эквивалентного слоя грунта, м;

$t_b$  – среднемесячная температура воздуха, °С.

Радиус зоны талого грунта снизу трубы  $r_{тн}$  определяется по формуле (2.3):

$$r_{тн} = y^1 h_0, \quad (2.3)$$

где  $y^1$  – определяется по правой ветви кривой  $x^1=0$  номограммы [93, рисунок 11, а] по значению коэффициента  $f_1$ , вычисленного по формуле

$$f_1 = \frac{0,5(\zeta - h_0)\lambda_m t_b f_2}{(\zeta - h_0)\lambda_m t_b - (\zeta + s_c)\lambda_T t_{гг}}. \quad (2.4)$$

Расчётный радиус талика определяется по формуле:

$$R_T = \frac{R_{тн} + R_{тв}}{2}. \quad (2.5)$$

Размеры талика, полученные по результатам теплотехнического расчёта и выполненные по методике профессора Г. В. Порхаева [5], приведены в таблицах 2.11 и 2.12.

### 2.5.1 Результаты расчётов определения размера талика по методике профессора Г. В. Порхаева

Опираясь на формулы (2.1) и (2.3) был рассчитан радиус зоны талика сверху и снизу трубы по формуле (2.5). Результаты вычислений размера талика для разных значений  $h/d$  занесены в таблицы 2.11 и 2.12.

Таблица 2.11 – Результаты размера талика при движении воды полным сечением,  $h/d = 1$

Температура воды, °С	Диаметр $D$ , мм	Температура грунта, $t_r$ , °С	Радиус зоны талика, мм	
			сверху трубы $r_{тв}$ , мм	снизу трубы $r_{тн}$ , мм
40	100	-4	40	49
20			21	25
1			2	2,2

Таблица 2.12 – Результаты размера талика при движении воды с заполнением,  $h/d = 0,5$ 

Температура воды, °С	Диаметр $D$ , мм	Температура грунта, $t_r$ , °С	Радиус зоны талика, мм	
			сверху трубы $r_{ТВ}$ , мм	снизу трубы $r_{ТН}$ , мм
40	100	-4	19	28
20			13	18
1			2	2,2

## 2.6 Сравнение результатов экспериментальных исследований и аналитического расчёта по методике профессора Г.В. Порхаева

Размеры талика были получены по результатам расшифровки теплограмм после проведения эксперимента и с помощью теплотехнического расчёта, выполненного по методике профессора Г. В. Порхаева [93]. Для удобства фактических величин талика с теоретическими значениями талика и рассчитанными по методике профессора Г.В. Порхаева составлена таблица 2.13.

Таблица 2.13 – Сравнение значений талика, полученных экспериментально и с рассчитанными по методике профессора Г. В. Порхаева

Номер опыта	Температура воды, °С	Радиус зоны талика, мм			
		над трубой $r_{ТВ}$		под трубой $r_{ТН}$	
		по данным эксперимента	по методике Г. В. Порхаева	по данным эксперимента	по методике Г. В. Порхаева
Движение воды с полным заполнением, $h/d = 1$					
1	40	45	40	58	49
2	20	24	21	29	25
3	1	2,7	2	3	2,2
Движение воды с неполным заполнением, $h/d = 0,5$					
4	40	21	19	33	28
5	20	15	13	21	18
6	1	2,6	2	3	2,2

При сравнении размеров талика, полученных экспериментально и расчётным путём, следует отметить, что в трубопроводе, работающем полным сечением, контуры талого грунта близки к окружности; в трубопроводе, работающем с заполнением  $h/d = 0,5$  талик, имеет грушеобразную форму. Экспериментальное и расчётное значение толщины талика под трубой в среднем на 5–16 % больше, чем над трубой. Причем фактические значения талика, полученные экспериментальным путем, в обоих случаях (для  $h/d = 0,5$  и  $h/d = 1$ ) больше расчётных на 10–16 %. Таким образом, можно отметить, что в принятой методике расчёта по определению размеров талика полученные значения несколько занижены. Фактически время промерзания талика, ввиду его больших размеров, будет примерно на 15 % больше значений, полученных по расчёту.

Для повышения надёжности работы трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов разработано устройство защиты трубопровода в грунте от промерзания и получен патент на изобретение [79].

### **Выводы по второй главе**

1. На основе натурных исследований, проведённых на действующей канализационной сети в Кызыле в зимний период, установлено, что значения температуры сточной воды в канализационном выпуске из здания в течение суток меняются от 8,4 до 22,3 °С.

2. С целью снижения затрат на строительство в районах с суровым климатом канализационные трубопроводы можно прокладывать в слое мёрзлого грунта выше глубины промерзания. Проведённые натурные исследования температурного режима трубопровода, уложенного в слое мёрзлого грунта на глубину 1,8 м, показали, что в конечной точке исследуемой трассы температура сточной воды имеет положительную температуру в пределах 5,6–9,8 °С, что свидетельствует о достаточном тепловом потенциале и запасе надёжности трассы от перемерзания при эксплуатации.

3. Получены результаты экспериментальных исследований по определению размера талика при пропуске по трубопроводу воды с разной температурой и степенью наполнения трубопровода;

4. В общем случае для трубопровода, работающего полным сечением, толщина слоя оттаявшего грунта под трубой больше, чем над трубой, причем расхождение в значениях возрастает с увеличением температуры транспортируемой воды. При транспортировании воды с температурой воды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  толщина талика под трубой больше, чем над трубой на 16 %, а при температуре воды  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  это расхождение возрастает до 22 %. При температуре транспортируемой воды, равной  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , толщина слоя оттаявшего грунта сверху и снизу трубы минимальна и практически размеры талика становятся одинаковыми.

5. Для трубопровода, работающего при степени заполнения  $h/d = 0,5$ , соотношение толщины оттаявшего грунта сверху и снизу трубы возрастает: при температуре воды  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  оно составляет 32 %, для температуры  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 27 %, для температуры  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 9 %.

6. Сравнение размеров талика, полученных по результатам эксперимента и расчётным путём, показало, что экспериментальные размеры талика превышают расчётные на 8–12%. С увеличением размеров талика возрастает продолжительность времени его промерзания, благодаря чему увеличивается и безопасное время для проведения ремонтно-восстановительных работ. Таким образом, фактическое время промерзания будет больше расчётного. Широко используемые расчётные формулы профессора Г.В. Порхаева по определению размеров талика отражают действительную картину с запасом до 15%.

### **3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Чтобы проложить канализационные трубопроводы в слое грунта, который в зимнее время промерзает, необходимо решить задачу защиты труб от замерзания в период аварийных остановок движения воды или в случае отключения средств подогрева. Верхний слой грунта в зимнее время имеет отрицательную температуру как в районах распространения вечномёрзлых грунтов, так и в районах глубокого сезонного промерзания.

Предохранение канализации от замерзания обеспечивается следующими способами: подогревом воды, подаваемой в трубопроводы, сбросом воды в местах возможного замерзания трубопроводов, прокладкой их совместно с трубопроводами теплофикационной сети, способом «теплового сопровождения» трубопроводов, обеспечением постоянной циркуляции воды в водопроводных линиях вне зависимости от ее разбора потребителями.

Подогрев воды является одним из простых и проверенных способов обеспечения незамерзаемости трубопроводов и в сочетании с работой сбросов на сети, в домовых вводах и в тупиковых линиях применяется во многих городах и населенных пунктах. Выбор способа подогрева воды определяется технико-экономическими показателями и должен в каждом отдельном проекте решаться по-своему.

#### **3.1 Обоснование определения минимальной глубины заложения начального участка трубопровода**

В районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов почти все подземные коммуникации значительную часть года находятся в мёрзлых грунтах<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> По результатам проведенного исследования автором опубликована статья: Майны, Ш. Б. Методика определения минимальной глубины заложения начального участка канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов, Н. П. Заборщикова // Вестник гражданских инженеров. – 2016. №3(56). – С. 116-122.

Следовательно, возникают более сложные задачи предохранения жидкости от замерзания, чем в обычных условиях.

Есть территории с большим глубоким сезонным промерзанием грунтов до трех метров и более. Так, например, в г. Кызыле Республики Тыва глубина сезонного промерзания составляет 3,2 м, что определяется климатическими, грунтовыми и гидрогеологическими условиями. Глубина заложения труб – один из основных факторов, определяющих стоимость городской канализационной сети, так как стоимость земляных работ, особенно в зимнее время, составляет значительную часть общей стоимости работ по прокладке.

Как правило, канализационные сети прокладываются самотечными, то есть по ходу движения их глубина все время возрастает, поэтому для снижения стоимости работ чрезвычайно важно уменьшить до предела начальную глубину заложения.

Таким образом, основная задача проектирования канализационной сети заключается в назначении минимальной глубины заложения ее начального участка с учётом надежного предохранения от замерзания в зимний период.

Температура грунта меняется по глубине заложения трубопровода от максимального значения у поверхности до 0 °С на глубине промерзания. Прокладка трубопровода в грунте с отрицательной температурой может привести к перемерзанию трубопровода и к прекращению работы канализационных сетей с последующим подтоплением территории.

При формулировании задачи по назначению минимальной глубины заложения необходимо определить минимальную глубину заложения трубопровода на начальном участке, обеспечивающую незамерзаемость трубопровода и работоспособность трубопровода. На назначение глубины заложения трубопровода влияют следующие факторы: диаметр трубопровода, отрицательная температура грунта на глубине заложения, температура транспортируемой воды. На домовых выпусках температура транспортируемой воды в среднем находится в разные периоды суток в пределах от 3 до 15 °С [62]. При положительной температуре транспортируемой воды вокруг трубопровода

образуется зона талого грунта (талик). Размеры талика возрастают с увеличением диаметра трубопровода и увеличением заглубления трубы, повышением температуры транспортируемой воды и уменьшением значения отрицательной температуры мёрзлого грунта на уровне укладки. Талик вокруг труб, уложенных в земле, обладая большой теплоемкостью вследствие переувлажнения, служит хорошей защитой от замерзания трубопроводов с неравномерными расходами и периодическим отсутствием воды в них.

Как правило, при движении воды в трубопроводе его перемерзание не наступает. Перемерзание происходит при остановке движения в трубе. В этом случае процесс перемерзания трубопровода состоит из следующих этапов: в начале происходит промерзание талика, затем остывание воды в трубопроводе, от начальной температуры, при которой транспортировалась сточная вода, до 0 °С.

Время остановки движения воды в канализационных трубопроводах определяется временем, необходимым для промерзания зоны талого грунта вокруг трубопровода (зависит от размеров талика, теплофизических характеристик грунта и его температуры), а также временем, необходимым для остывания воды до 0 °С.

Расчёт допустимых остановок движения воды важно производить для труб небольших диаметров при наиболее низкой температуре транспортируемой воды.

Для регламентирования действий службы эксплуатации по предотвращению замерзания канализационных трубопроводов предлагается взаимоувязывать инерционность замерзания воды и продолжительность проведения мероприятий по возобновлению ее движения. Для оценки эффективности проектировочных решений, касающихся глубины заложения трубопровода и температуры транспортируемой воды, а также для упорядочения действий эксплуатационной службы предлагается ввести два параметра: защитное время и время восстановления.

Защитное время (ЗВ) – промежуток времени, который состоит из времени промерзания талика вокруг трубопровода  $\tau_{\text{пром. тал.}}$ , и времени остывания воды в трубопроводе до 0°С  $\tau_{\text{ост}}$ .

Защитное время зависит от многих факторов, и в первую очередь от температуры грунта на глубине заложения трубопровода и температуры транспортируемой сточной воды, степени наполнения трубопровода и теплофизических характеристик грунта.

Время восстановления (ВВ) – промежуток времени от остановки движения воды в трубопроводе до восстановления службой эксплуатации его работы. Значение ВВ нормируется и назначается индивидуально для каждого трубопровода в зависимости от климатических условий, технической оснащённости службы эксплуатации, протяжённости трубопровода, образования снежных заносов и т.д. Без специального нормирования значение ВВ должно приниматься не менее 8 ч.

Защитное время должно быть меньше или равно ВВ. Продолжительность работ по восстановлению трубопровода должна быть меньше, чем тот период времени, в течение которого трубопровод замерзнет [62].

### 3.2 Определение минимальной глубины заложения начального участка трубопровода по методике профессора Г. В. Порхаева

Для установления взаимосвязи отдельных параметров, обеспечивающих необходимую продолжительность защитного времени, было произведено математическое моделирование инерционности замерзания воды канализационного трубопровода для разных диаметров труб при различных определяющих факторах (температура грунта  $t_g$ , глубина заложения  $h$ , температура транспортируемой воды  $t_b$ ). Для математического моделирования виды и значения варьируемых параметров представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Виды и значения варьируемых параметров

№ п/п	Параметры	Значения		
1	Температура грунта $t_g$ , °С	-9	-6	-3
2	Температура транспортируемой воды $t_b$ , °С	40	20	1
3	Диаметр трубопровода $d$ , мм	50	100	150
4	Глубина заложения $h$ , м	1	1,5	2

Расчёты проводились по известным аналитическим формулам В.Г. Порхаева [93] и А.Л. Ястребова [130].

Как отмечалось прежде, защитное время ( $\tau_{зв}$ ) складывается из времени промерзания талика вокруг трубопровода  $\tau_{пром.тал.}$ , времени остывания воды в трубопроводе до  $0^\circ\text{C}$   $\tau_{ост}$ , которые определяются по формулам (3.1, 3.4):

$$\tau_{пром.тал.} = -\frac{D}{3600} \frac{\sigma r_0 v}{\lambda_M t_\Gamma}, \quad (3.1)$$

где  $D$  – коэффициент, коэффициент, определяемый по номограмме [93, рисунок 12] по значению  $Z = h_0 / r_0$  и относительному радиусу талой зоны  $r_t / r_0$ , с учётом

$$A_2 = \frac{\sigma}{C_M \cdot t_{ж} v}; B_2 = 9 \cdot 10^2 \frac{\lambda_T}{C_T \cdot r_0^2};$$

$t_\Gamma$  – температура грунта на глубине оси трубы, назначаемая согласно указаниям [93, п. 2.2.22];

$r_0$  – радиус трубы, м;

$v$  – степень заполнения труб;

$\lambda_M$  – коэффициент теплопроводности мёрзлого грунта, Вт/(м·К);

$\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности талого грунта, Вт/(м·К);

$C_M$  – удельная теплоёмкость мёрзлого грунта, Дж/(кг·К);

$C_T$  – удельная теплоёмкость талого грунта, Дж/(кг·К);

$t_{ж}$  – температура жидкости,  $^\circ\text{C}$ ;

$\sigma$  – удельная теплота замерзания воды в единице объёма грунта, определяемая по формуле:

$$\sigma = z(W_c - W_n)\gamma_{ск}, \quad (3.2)$$

где  $z = 3,36 \cdot 10^4$  Дж/Н – скрытая теплота плавления льда (замерзания воды);

$\gamma_{ск}$  – объёмный вес скелета грунта в Н/м<sup>3</sup>;

$W_c$  – суммарная весовая влажность грунта в долях единицы;

$W_n$  – весовое содержание незамерзающей воды при данной температуре грунта в долях единицы. Приблизительно значения  $W_n$  можно определять по формуле

$$W_n = K_n W_p, \quad (3.3)$$

$K_n$  – коэффициент, принимаемый по таблице 3 [93] в зависимости от вида грунта, числа пластичности  $W_p$  температуры мёрзлого грунта;

$W_p$  – влажность грунта на границе раскатывания в долях единицы.

Время промерзания талика зависит от размеров талика, температуры грунта, температуры воды и теплофизических свойств грунта. Время обуславливается природно-климатическими условиями и теплофизическими свойствами грунта. В таблице 3.2. представлены основные теплофизические свойства грунтов по пособию [93].

Таблица 3.2 – Основные теплофизические характеристики грунтов [93]

Вид грунта	Теплопроводность талого грунта, $\lambda_t$ Вт/(м·К)	Теплопроводность мёрзлого грунта, $\lambda_m$ Вт/(м·К)	Удельная теплоёмкость талого грунта, $C_t$ , Дж/(кг·К)	Удельная теплоёмкость мёрзлого грунта, $C_m$ , Дж/(кг·К)
Суглинки	0,87	0,99	2184	1764
Супеси	1,05	1,28	2184	1764
Пески	1,39	1,62	2184	1764

Расчеты времени промерзания талика для разных видов грунта (суглинок, супесь и песок) определены по формуле 3.1. В таблице 3.3. представлены результаты расчета времени промерзания талика в зависимости от вида грунта.

Таблица 3.3. – Зависимость времени промерзания талика от вида грунта

№ п/п	Вид грунта	Время промерзания талика, $\tau_{\text{пром. тал}}$ ч
1	Суглинок	20,3
2	Супесь	18,1
3	Песок	17,3

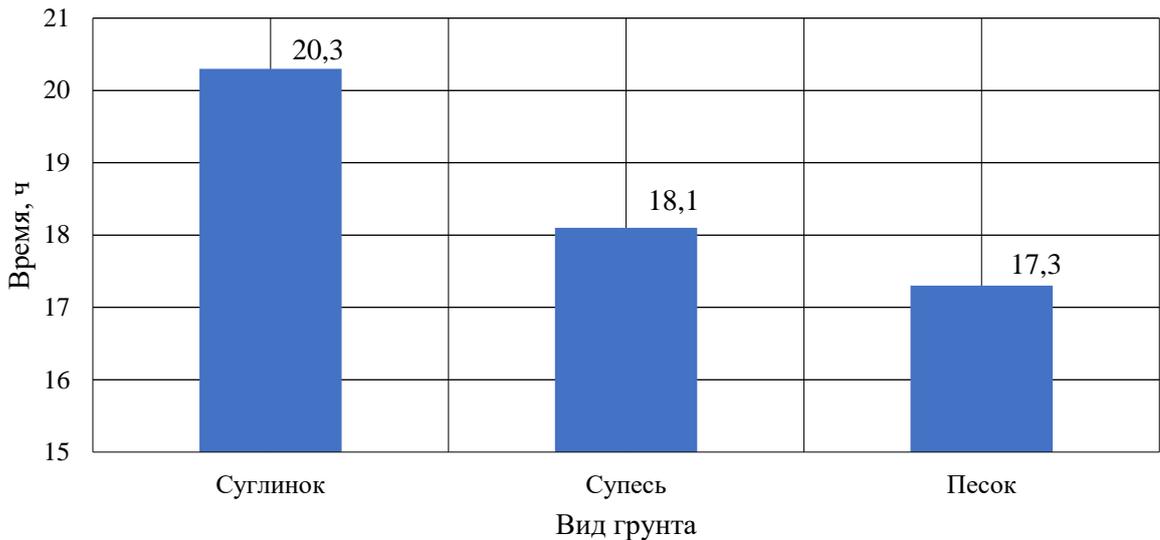


Рисунок 3.1. – Зависимость времени промерзания талика от вида грунта

Из графика видно, что время промерзания талика составило для песка 17 часов, для супеси 18 часов, а для суглинка 20 часов. Так как время промерзания талика для песка меньше, чем для других видов грунта, он был выбран для экстремальных условий.

Проведенные экспериментальные исследования позволили уточнить размер талика, используемый в методике профессора Порхаева Г.В.

Сравнение фактического значения талика с расчётным по формуле профессора Порхаева Г.В. показало, что экспериментальные полученные данные по размерам талика на 8-12% больше расчётного.

Расчёт времени остывания воды в трубе до 0 °С  $\tau_{\text{ост}}$ , определяется по следующей формуле (3.4):

$$\tau_{\text{ост}} = \frac{d_1^2 \gamma_{\text{св}}}{8\lambda_{\text{т}}} \ln\left(\frac{2h}{d_2} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_2^2} - 1}\right) \ln \frac{\lambda_{\text{т}} t_{\text{нач}} - \lambda_{\text{м}} t_{\text{г}}}{\lambda_{\text{т}} t_{\text{кон}} - \lambda_{\text{м}} t_{\text{г}}}, \quad (3.4)$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр трубопровода, м;

$d_2$  – внешний диаметр трубы, м;

$\gamma$  – объёмный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>;

$c$  – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К);

$\lambda_T$  и  $\lambda_M$  – коэффициенты теплопроводности талого и мёрзлого грунтов, Вт/(м·К);

$t_{\text{нач}}$  – температура сточной воды в момент начала остывания, °С;

$t_{\text{кон}}$  – конечная температура сточной воды, °С;

$h$  – глубина заложения трубы, м;

$t_T$  – температура грунта на глубине заложения оси трубы, °С.

Всего с помощью математического моделирования выполнено около 200 расчётов для разных глубин заложения трубопровода и трех температурных значений. Результаты выполненных расчётов сведены в таблицах 3.4–3.7.

Для Кызыла наиболее распространены диаметры трубопроводов от 100 до 400 мм. Поэтому решено дополнительно просчитать ЗВ для труб диаметром 100 и 150 мм. Температура транспортируемой воды принималось, равной +1, +20, и +40 °С, так как температура сточной воды на выпуске из жилых домов без горячего водоснабжения в холодный период колеблется от 1 до 25 °С. Поэтому детальный анализ причин и факторов, влияющих на изменение продолжительности ЗВ  $\tau_{ЗВ}$  в первую очередь, приводится для указанных значений [62].

Процесс выполнения расчёта в программном комплексе *Mathcad* 14.

Канализационные выпуски из зданий, как правило, имеют диаметр 100 мм. Рассмотрим подробнее влияние факторов применительно для трубопровода этого диаметра при наполнении при  $h/d = 0,5$ .

Расчётные значения  $\tau_{\text{пром. тал}}$ ,  $\tau_{\text{ост}}$  для разных диаметров трубопроводов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Расчётные значения  $\tau_{\text{пром.тал}}$ ,  $\tau_{\text{ост}}$  для трубопроводов диаметром 100 мм, при  $h/d = 0,5$

Температура грунта, $t_r$ , °С	Температура воды, $t_b$ , °С	Диаметр трубы, $d$ , мм	Глубина заложения, $h$ , м	Время промерзания зоны талого грунта, $\tau_{\text{пром.тал}}$ , Ч	Время остыв воды до 0°С, $\tau_{\text{ост}}$ , Ч
-9,8	1	100	1	6,4	0,77
-6,5	1	100	1,5	9,6	1,31
-4,1	1	100	2	19,2	2,87
-9,8	10	100	1	11,52	2,58
-6,5	10	100	1,5	17,3	3,91
-4,1	10	100	2	34,56	6,5
-9,8	20	100	1	19,2	4,52
-6,5	20	100	1,5	28,8	6,57
-4,1	20	100	2	57,6	10,12

Проследим динамику изменения значений  $\tau_{\text{пром.тал}}$ ,  $\tau_{\text{ост}}$  для наиболее невыгодных условий при низкой температуре транспортируемой воды, равной 1 °С на глубине 1 м и соответствующей при этом температуре мёрзлого грунта равной -9,8 °С.

Поскольку продолжительность ЗВ складывается из  $\tau_{\text{пром.тал}}$ , и  $\tau_{\text{ост}}$  проанализируем их влияние на его величину. Температура транспортируемой воды при других неизменных параметрах влияет только на значение времени промерзания талого грунта и на значение времени остывания воды. Причем, при более высокой температуре воды  $t_b$  время промерзания талого грунта и время остывания воды увеличиваются.

На рисунке 3.1 представлены графики по расчётным значениям  $\tau_{\text{пром.тал}}$ , и  $\tau_{\text{ост}}$ , которые имеют следующие параметры:  $\tau_{\text{пром.тал}}=17,3$  ч,  $\tau_{\text{ост}}=3,9$  ч.

В целом из анализа взаимного влияния факторов, приведенных в таблицах и отображенных на графиках, прослеживается общая тенденция:

1. Определяющим параметром для назначения глубины заложения трубы является критерий ЗВ. Он должен быть больше продолжительности времени

восстановления ВВ.

2. Продолжительность ЗВ ( $\tau_{зв}$ ) возрастает с увеличением диаметра трубопровода, с повышением температуры транспортируемой воды и с наполнение трубы  $h/d$ .

Защитное время  $\tau_{зв}$  является основным ориентиром для службы эксплуатации при определении ВВ. Величина, которая не должна превышать продолжительность проведения восстановительных работ.

На рисунке 3.2 построены зависимости  $\tau_{\text{пром.тал}}$  и  $\tau_{\text{ост}}$  от температуры транспортируемой сточной воды и глубины заложения трубы.

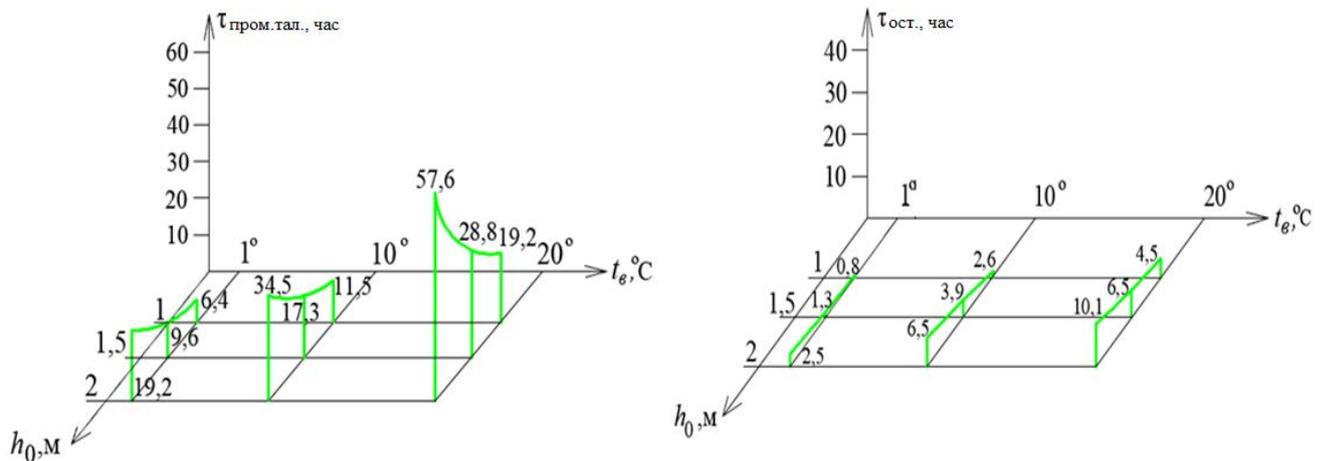


Рисунок 3.2 – Зависимости от температуры сточной воды  $t_b$  и глубины заложения  $h$  для трубопровода диаметром 100 мм при  $h/d = 0,5$ :

а)  $\tau_{\text{пром.тал}}$ , б)  $\tau_{\text{ост}}$

Необходимо определить ЗВ для канализационного трубопровода диаметром 100 мм для трех температурных значений транспортируемой воды 1, 10 и 20 °С. Предлагаемый параметр ЗВ будет состоять из времени промерзания талика и времени остывания. Например, при значениях  $h = 1,5$  м и  $t_b = 10$  °С среднее значение  $\tau_{зв}$  будет равно 21,2 ч, что превышает ВВ.

$$\tau_{зв} = \tau_{\text{пром.тал}} + \tau_{\text{ост}} = 17,3 + 3,9 = 21,2 \text{ ч.}$$

Общая величина равняется 21,2 ч., что превышает ВВ.

По аналогии можно определить  $\tau_{зв}$  для глубины заложения трубопровода  $h=2$  м. ЗВ будет равно  $\tau_{зв} = 41,05$  ч. и для  $h=1$  м  $\tau_{зв} = 14,09$  ч.

Зависимость ЗВ от температуры транспортируемой воды  $t_b$  1, 10, 20 °С для трубопровода  $d=100$  мм, глубины заложения трубопровода и степени его наполнения  $h/d$  представлена на рисунке 3.3.

Критерий ЗВ является наиболее важным. Значение ЗВ в каждом случае должно быть не меньше 8 ч. Поэтому подбираются параметры, а именно глубину заложения и температуру транспортируемой воды такими, чтобы общая величина ЗВ была не меньше 8 ч. Это гарантирует незамерзаемость трубопровода в течение указанного времени и правильное назначение минимальной глубины заложения. Аналогичная закономерность прослеживается и для других диаметров.

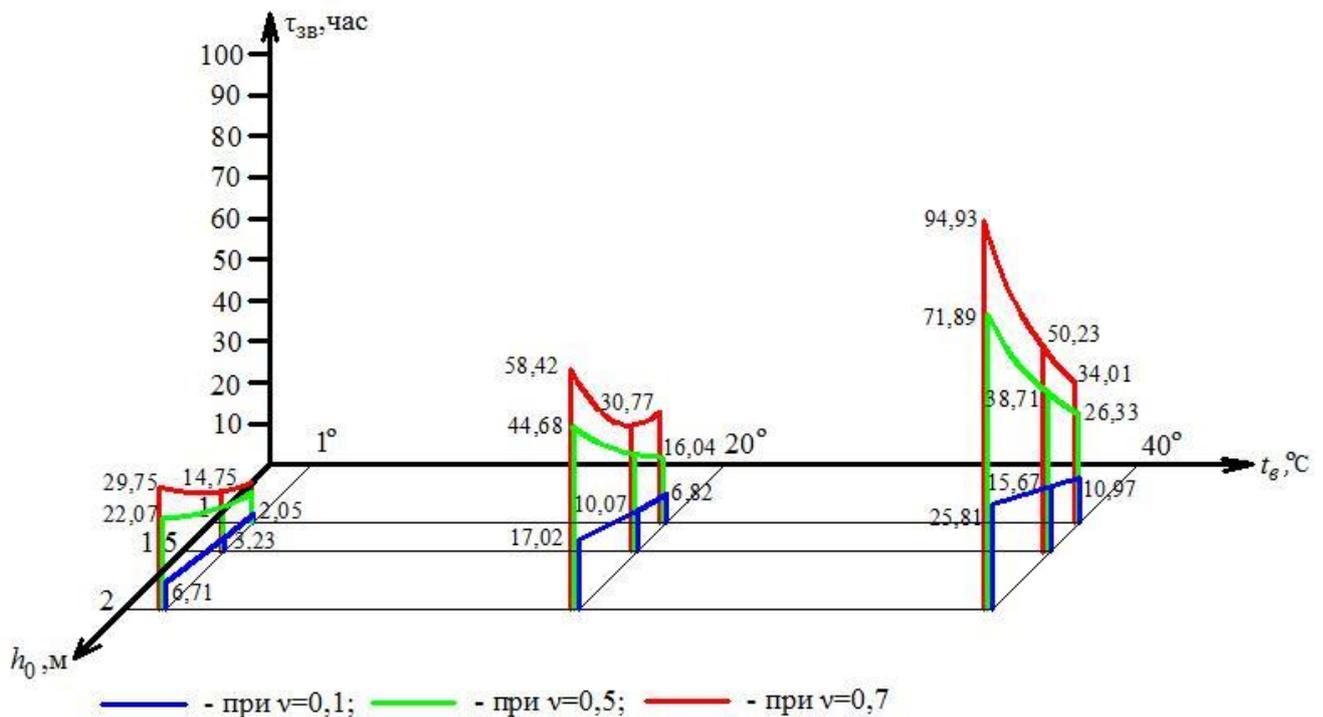


Рисунок 3.3 – Зависимость  $\tau_{зв}$  от температуры транспортируемой воды 1, 10, 20 °С, глубины заложения трубопровода и степени его наполнения  $h/d$  для трубопровода  $d=100$  мм,

Продолжительность защитного времени  $\tau_{зв}$  для трубопровода диаметром 100 – 150 мм представлен в таблицах 3.5–3.7.

Таблица 3.5 – Продолжительность защитного времени  $\tau_{зв}$  для трубопровода диаметром 100 и 150 мм при  $\nu=0,1$

$h, \text{ м}$	$t_{\theta}, \text{ }^{\circ}\text{C}$									
	$D, \text{ мм}$	1 $^{\circ}\text{C}$			10 $^{\circ}\text{C}$			20 $^{\circ}\text{C}$		
		$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$	$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$	$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$
1	100	1,28	0,77	2,05	2,3	4,52	6,82	3,84	7,13	10,97
	150	2,88	1,53	4,41	5,2	8,96	14,16	8,64	14,13	22,77
1,5	100	1,92	1,31	3,23	3,5	6,57	10,07	5,76	9,91	15,67
	150	4,32	2,65	6,97	7,7	13,24	20,94	12,9	19,98	32,88
2	100	3,84	2,87	6,71	6,9	10,12	17,02	11,52	14,29	25,81
	150	8,64	5,85	14,49	15,5	20,58	36,08	25,9	29,06	54,96

Таблица 3.6 – Продолжительность защитного времени  $\tau_{зв}$  для трубопровода диаметром 100 и 150 мм при  $\nu=0,5$

$h, \text{ м}$	$t_{\theta}, \text{ }^{\circ}\text{C}$									
	$D, \text{ мм}$	1 $^{\circ}\text{C}$			10 $^{\circ}\text{C}$			20 $^{\circ}\text{C}$		
		$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$	$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$	$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$
1	100	6,4	0,77	7,17	11,52	4,52	16,04	19,2	7,13	26,33
	150	14,4	1,53	15,93	25,9	8,96	34,86	43,2	14,13	57,33
1,5	100	9,6	1,31	10,91	17,28	6,57	23,85	28,8	9,91	38,71
	150	21,6	2,65	24,25	38,8	13,24	52,04	64,8	19,98	84,78
2	100	19,2	2,87	22,07	34,56	10,12	44,68	57,6	14,29	71,89
	150	43,2	5,85	49,05	77,7	20,58	98,28	129,6	29,06	158,66

Таблица 3.7 – Продолжительность защитного времени  $\tau_{зв}$  для трубопровода диаметром 100 и 150 мм при  $\nu=0,7$

$h, \text{ м}$	$t_{\theta}, \text{ }^{\circ}\text{C}$									
	$D, \text{ мм}$	1 $^{\circ}\text{C}$			10 $^{\circ}\text{C}$			20 $^{\circ}\text{C}$		
		$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$	$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$	$\tau_{\text{пром.тал}}, \text{ час}$	$\tau_{\text{ост}}, \text{ час}$	$\tau_{зв}, \text{ час}$
1	100	8,96	0,77	9,73	16,1	4,52	20,62	26,88	7,13	34,01
	150	20,16	1,53	21,69	36,2	8,96	45,16	60,5	14,13	74,63
1,5	100	13,44	1,31	14,75	24,2	6,57	30,77	40,32	9,91	50,23
	150	30,24	2,65	32,89	54,4	13,24	67,64	90,7	19,98	110,68
2	100	26,88	2,87	29,75	48,3	10,12	58,42	80,64	14,29	94,93
	150	60,48	5,85	66,33	108,8	20,58	129,38	181,4	29,06	210,46

Определяющим параметром для назначения глубины заложения трубы является критерий ЗВ. Он должен быть больше продолжительности времени восстановления ВВ.

Продолжительность ЗВ ( $\tau_{зв}$ ) возрастает с увеличением диаметра трубопровода, повышением температуры транспортируемой воды и большим наполнением трубы  $h/d$ .

Главным фактором для увеличения ЗВ является время промерзания талика. Значительное превышение  $\tau_{пром.тал}$ , над  $\tau_{ост}$ , связано с наполнением трубы  $h/d$ .

Величина  $\tau_{зв}$  зависит главным образом от температуры воды  $t_v$ , при которой произошла остановка движения.

### **3.3 Описание программы для ЭВМ по определению глубины заложения канализационного трубопровода в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов**

В соответствии с [104] для предотвращения перемерзания воды трубопровод должен прокладываться выше глубины промерзания грунтов. Для районов с глубоким сезонным промерзанием такое положение влечёт за собой значительное удорожание канализационных сетей, за счёт увеличения глубины прокладки труб и соответственно возрастания объёма земляных работ и увеличения затрат на аварийные работы в зимний период. Поэтому обоснованное снижение глубины заложения трубопроводов с учётом прокладки труб в нижних слоях мёрзлых грунтов при обеспечении их надёжной работы является экономически выгодным решением.

Разработанная нами программа предназначена для определения минимальной глубины заложения канализационных трубопроводов в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов с учётом времени промерзания талика и остывания воды в случае остановки ее движения.

С помощью программы, в зависимости от различных значений глубины заложения трубопровода, можно моделировать его основные эксплуатационные параметры: время промерзания талика, время остывания воды в трубопроводе от температуры, с которой вода транспортировалась до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Входными данными для разработанной программы являются диаметр трубы, радиус трубы, глубина заложения трубопровода, температура грунта [64], температура сточной воды, степень заполнения трубопровода, объёмный вес сточной воды, удельная теплоемкость сточной воды, коэффициенты теплопроводности талого и мёрзлого грунтов, температура жидкости в момент начала остывания, конечная температура сточной воды (рисунок 3.4).

	d, мм	r0, м	h, м	t гр, м	tж, °C	v	t доп, ч	Д
*								
←								
→								

Рисунок 3.4. – Диалоговое окно для ввода данных

Математическая модель реализована в программной среде имитационного моделирования Visual Studio 2017 для визуального отображения данных и графиков. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (приложение Д).

Программа применяется при проектировании канализационных трубопроводов с глубоким сезонным промерзанием грунтов для повышения

технико-экономической эффективности прокладки. Она также может быть использована проектировщиками, службой эксплуатации канализационных сетей, и в учебном процессе вузов, занимающихся изучением соответствующих дисциплин.

### **Выводы по третьей главе**

1. Предложены новые параметры защитное время и время восстановления, регламентирующие действия службы эксплуатации при возникновении аварий на канализационных трубопроводах.

2. Получены экспериментальные зависимости для определения новых параметров «защитное время» (ЗВ) и «время восстановления» (ВВ) участков канализационной сети, которые позволяют определить минимальные величины начальной глубины их заложения при сохранении надежности работы сети, сокращать сроки и стоимость ремонтно-восстановительных работ.

3. Установлено, что основная часть защитного времени обусловлена временем промерзания талика, которая по сравнению с временем остывания сточной воды выше на 60 %. Значительная продолжительность времени промерзания талика обусловлена температурой сточной воды и наполнением трубы  $h/d$ .

4. Разработана методика и составлена программа расчёта для ЭВМ по определению минимальной глубины заложения трубопроводов, обеспечивающая бесперебойную работу.

## **4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОКЛАДКИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЗА СЧЁТ УМЕНЬШЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ**

### **4.1 Общие положения**

Проблема прокладки канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях включает в себя чрезвычайно широкий круг вопросов. Это говорит о том, что исследований в этой области недостаточно. Вопросы экономики проектирования и строительства инженерных сетей в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов имеют большое значение [50].

Глубина промерзания грунта на территории Республики Тыва составляет 3,2 м. Столицей республики является г. Кызыл. В столице республики глубина заложения канализационных труб колеблется от 2 до 6 м. Глубина заложения неравномерна и в зависимости от рельефа местности может изменяться в значительных пределах. Как правило, канализационные сети прокладываются самотечными. Вследствие этого по ходу движения глубина всё время возрастает, поэтому для уменьшения стоимости работ чрезвычайно важно уменьшить до предела начальную глубину заложения [62].

Основная задача проектирования канализационной сети заключается в назначении минимальной глубины заложения начального участка канализационной сети с учётом надёжности от замерзания в зимний период [62].

Мелкая прокладка труб позволяет снизить затраты на разработку грунта при рытье траншей. Экономическая эффективность такого способа возрастает в случаях прокладки трубопроводов в мерзлых, скальных, полускальных грунтах, в неустойчивых сыпучих грунтах, требующих устройств креплений, при высоком уровне грунтовых вод, а также при сооружении канализационных сетей временных поселков и объектов.

Мелкая прокладка снижает затраты на ремонтные работы и работы по устранению повреждений трубопроводов. Подверженность трубопроводов замерзанию возрастает с уменьшением диаметра. С точки зрения теплотехники в наиболее неблагоприятных условиях находятся трубопроводы меньшего диаметра.

Одним из основных факторов, определяющих стоимость городской канализационной сети, является глубина заложения труб, так как стоимость земляных работ, особенно в зимнее время, составляет значительную часть общей стоимости работ по прокладке [62] канализационных сетей. Уменьшение глубины заложения канализационных сетей [62], например на 1 м, на улицах, где ширина траншеи поверху должна быть минимальной, дает не только ощутимый экономический эффект, но и удобство в производстве строительно-монтажных и аварийно-восстановительных работ, а также снижает затраты на их прокладку, эксплуатацию и упрощает ликвидацию аварий. Сокращаются сроки строительства, что очень важно, особенно в условиях большого города, где нельзя прерывать движение транспорта на длительное время.

Повышение эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию действующих сетей канализации, получение высоких результатов при наименьших затратах возможно лишь на основе экономического обоснования принимаемых проектных решений, использования в них достижений научно-технического прогресса, обеспечения их конкурентоспособности.

При прокладке канализационных трубопроводов рациональное решение зависит не только от технической, но и от экономической оценки возможных вариантов. Как правило, ряд вариантов рассматривается при разработке технологической части проекта. В этом случае производится технико-экономическое сравнение вариантов проектных решений [42, 70, 95].

При технико-экономическом выборе вариантов нет необходимости сравнивать все элементы системы. Варианты могут сравниваться только при условии их равноценности. Сравнительная экономическая эффективность вариантов определяется на основе таких показателей, как капитальные вложения, рассчитанные с помощью укрупненных измерителей, и годовые эксплуатационные затраты. Кроме основных показателей, при сравнении вариантов необходимо учитывать следующие дополнительные факторы: материалоемкость, трудоемкость и срок окончания строительства по каждому варианту, надёжность системы в работе и условия труда рабочих.

На предпроектной стадии рассчитываются текущие издержки: затраты на материалы, технологическое топливо, электроэнергию, амортизацию, ремонтный фонд и заработную плату рабочих.

Следует принимать в расчёт капитальные вложения и эксплуатационные затраты только по изменяющимся элементам, которые зависят от варианта проектного решения и не повторяются в одинаковом размере в рассматриваемых вариантах.

#### **4.2 Методы оценки эффективности прокладки канализационных трубопроводов инвестиционных проектов**

При расчётах эффективности инвестиционных проектов необходимо соблюдать условия сопоставимости вариантов.

В тех случаях, когда приведение сравниваемых вариантов в сопоставимый вид невозможно, выбор наилучшего производится по критерию максимума экономического эффекта от реализации средозащитных мероприятий.

В составе капитальных вложений экологического назначения можно выделить две части: одна из них направлена исключительно на охрану среды (затраты на сооружения и установки для очистки производственных и коммунальных сточных вод), другая часть вложений наряду с охраной среды связана с повышением эффективности производственного процесса. К этой части относятся капитальные вложения на создание новой техники и прогрессивной технологии, снижающих или совершенно исключают вредное воздействие тех или иных производств на окружающую среду и повышающих эффективность производственного процесса, например, затраты на строительство замкнутых систем водоснабжения.

Методы, используемые в анализе инвестиционной деятельности, можно подразделить на две группы:

- 1) основанные на дисконтированных оценках;
- 2) основанные на учётных оценках [95].

Предлагаемые методы оценки эффективности инвестиционных проектов основываются на методологии ЮНИДО, широко применяемой в современной международной практике [95].

#### 4.2.1 Метод расчёта чистого приведенного эффекта

Этот метод основан на сопоставлении исходных инвестиции ( $IC$ ) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений, генерируемых ими в течение прогнозируемого срока. Поскольку приток денежных средств распределен во времени, он дисконтируется с помощью коэффициента ставки рефинансирования ЦБ РФ, которая по состоянию на апрель 2021 года равна 5%.

Допустим, делается прогноз о том, что инвестиции  $IC$  будут генерировать в течение  $n$  лет годовые расходы в размере  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Общая накопленная величина дисконтированных доходов ( $PV$ ) и чистый приведённый эффект ( $NPV$ ) соответственно рассчитываются по формулам [95]:

$$PV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}, \quad (4.1)$$

$$NPV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC, \quad (4.2)$$

Очевидно, если  $NPV > 0$ , проект следует принять; если  $NPV < 0$ , проект следует отвергнуть; при  $NPV = 0$  проект ни прибыльный, ни убыточный [95].

Если проект предполагает не разовую инвестицию, а последовательное инвестирование финансовых ресурсов в течение  $m$  лет, то формула для расчёта  $NPV$  выглядит следующим образом [95]:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^j}, \quad (4.3)$$

где  $i$  – прогнозируемый средний уровень инфляции.

Показатель  $NPV$  отражает прогнозную оценку изменения экономического потенциала предприятия в случае принятия рассматриваемого проекта.  $NPV$  различных проектов можно суммировать. Это очень важное свойство, выделяющее этот критерий из всех остальных и позволяющее использовать его в качестве основного при анализе оптимальности инвестиционного портфеля [95].

#### 4.2.2 Метод расчёта индекса рентабельности инвестиции

Этот метод является следствием предыдущего. Индекс рентабельности ( $PI$ ) рассчитывается по формуле

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} \div IC, \quad (4.4)$$

Очевидно, если  $PI > 1$ , проект следует принять; если  $PI < 1$ , проект следует отвергнуть; при  $PI = 1$  проект ни прибыльный, ни убыточный.

В отличие от чистого приведенного эффекта индекс рентабельности является относительным показателем. Благодаря этому он очень удобен при выборе одного проекта из ряда возможных, имеющих примерно одинаковые значения  $NPV$  [95].

#### 4.2.3 Метод определения срока окупаемости инвестиций

Этот метод не предполагает временной упорядоченности денежных поступлений.

$$PP = \frac{IC}{PN}, \quad (4.5)$$

где  $IC$  – исходные инвестиции;

$PN$  – показатель чистой прибыли.

Некоторые специалисты при расчёте показателя  $PP$  рекомендуют учитывать временной аспект. В этом случае в расчёт принимаются денежные потоки,

дисконтированные по показателю «цена» авансированного капитала. Очевидно, что срок окупаемости при этом увеличивается [95].

Показатель срока окупаемости инвестиций прост в расчётах, вместе с тем у него есть ряд недостатков, которые необходимо иметь в виду при анализе.

Во-первых, он не учитывает влияние доходов последних периодов.

Во-вторых, поскольку этот метод основан на не дисконтированных оценках, он не делает различия между проектами с одинаковой суммой кумулятивных доходов, но различным распределением ее по годам [95].

Метод определения срока окупаемости инвестиций целесообразно применять, когда руководство предприятия в большей степени озабочено решением проблемы ликвидности, а не прибыльности проекта, - главное, чтобы инвестиции окупились и как можно скорее [95].

#### 4.2.4 Метод расчёта коэффициента эффективности инвестиции

Этот метод не предполагает дисконтирования показателей дохода, а доход характеризуется показателем чистой прибыли  $PN$  (балансовая прибыль за минусом отчислений в бюджет). Коэффициент эффективности инвестиции ( $ARR$ ) рассчитывается делением среднегодовой прибыли  $PN$  на среднюю величину инвестиции (коэффициент берется в процентах). Среднюю величину инвестиции находят путем деления исходной суммы капитальных вложений на два, если предполагается, что по истечении срока реализации анализируемого проекта все капитальные затраты будут списаны; если допускается наличие остаточной стоимости  $RV$ , то ее оценка должна быть исключена. Таким образом, получаем формулу для вычисления коэффициента эффективности инвестиции [95]:

$$ARR = \frac{PN}{1/2(IC - RV)}, \quad (4.6)$$

Данный показатель сравнивается с коэффициентом рентабельности авансированного капитала, рассчитывается путем деления общей чистой прибыли

предприятия на общую сумму средств, авансированных в его деятельность (итог среднего баланса – нетто) [95].

#### **4.3 Экономический эффект от уменьшения глубины заложения канализационных трубопроводов**

Уменьшение глубины заложения инженерных коммуникаций при сохранении надёжности работы в нормальном эксплуатационном режиме и обеспечении незамерзаемости в возможных аварийных ситуациях является актуальной задачей. Мелкое заложение трубопроводов имеет ряд технических и экономических преимуществ: уменьшение строительной стоимости и сокращение сроков строительства за счет уменьшения объёма земляных работ; уменьшение трудоемкости ремонтных и восстановительных работ; быстрое обнаружение и устранение аварий, уменьшение объёма и сокращения сроков ремонтных и аварийно-восстановительных работ [64].

Для сети канализации в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов самая надёжная прокладка – это прокладка ниже глубины сезонного промерзания [59]. В этом случае значительно возрастает объём земляных работ, который в зимний период не всегда возможно выполнить, так как требуется мощная землеройная техника.

Для выявления экономического эффекта при прокладке канализационных трубопроводов в зависимости от уменьшения глубины заложения была проведена серия расчётов. Были выполнены расчёты стоимости строительства и эксплуатации для трубопроводов диаметром 300 мм, проложенных на глубине от 3 м до 6 м.

Расчёты произведены для следующих условий:

- район строительства – г. Кызыл;
- глубина заложения – от 3 до 6 м;
- участок на 1 км при глубине 4-5 м;
- глубина промерзания – 3,2 м;
- материал труб – чугун;
- диаметр труб – 300 мм;

- протяжённость канализационной сети:  $l = 1$  км;
- разработка грунта в отвал экскаватором с ковшом вместимостью  $2,5 \text{ м}^3$ ;
- засыпка траншей и котлованов бульдозером;
- доработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м;
- планировка площадей бульдозером.

Расчёт производился на 1 км трубопровода диаметром 300 мм для глубин заложения 1,5 и 3,2 м до верха трубопровода.

Стоимость земляных работ больше зависит от глубины заложения трубопровода и от грунтовых условий, и в меньшей степени от диаметра трубопровода.

В таблице 4.1. приведена полная стоимость земляных работ и общая стоимость прокладки канализационного трубопровода, длиной 1 км, в зависимости от глубины заложения.

Таблица 4.1 – Полная стоимость строительства канализационного трубопровода и земляных работ для г. Кызыла

Диаметр трубопровода, мм	Протяжённость, км	Глубина заложения до верха трубопровода, м			
		1,5		3,2	
		Стоимость земляных работ, тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.	Стоимость земляных работ, тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.
300	1	756,12	6007,53	1186,82	6692,56

Из полученных данных видно, что стоимость земляных работ составляет 30 % от общей стоимости работ по строительству канализационного трубопровода, что объясняется большой глубиной заложения трубопровода.

Исходные данные для расчёта годового экономического эффекта от применения мелкозаглубленной прокладки канализации диаметром трубы 300 мм с глубиной заложения трубопровода 1,5 м вместо традиционной прокладки трубопроводов того же диаметра с глубиной заложения 3,2 м приведены в таблице 4.2.

Базовый вариант – это трубопровод длиной 1 км и диаметром трубопровода 300 мм, проложенный в грунте согласно требованиям [104].

Таблица 4.2 – Техничко-экономическое сравнение вариантов

Показатель	Вариант	
	базовый	предлагаемый
Диаметр и материал труб	300 мм, чугун	300 мм, чугун
Глубина заложения трубы, м	3,2	1,5
Прямые затраты, тыс. руб. / км	6035,42	5747,11
Трудовые затраты на земляные работы, чел.-дн./км	533,42	304,15
Накладные расходы, тыс. руб. / км	527,33	330,48
Себестоимость строительно-монтажных работ, тыс. руб. / км	6562,76	6077,6
Полная сметная стоимость прокладки системы канализации, тыс. руб. / км	6692,56	6007,53
Срок службы трубопровода, лет	50	50

Экономический эффект для чугунного трубопровода диаметром 300 мм при мелкозаглубленной прокладке 1,5 м по сравнению с базовым вариантом 3,2 м на 1 км составляет 685,03 тыс. руб.

Для комплексной оценки принятого проектного решения приведена система основных технико-экономических показателей проекта (табл. 4.3).

Годовая норма амортизации при линейном способе определяется по формуле

$$H_a = \frac{100\%}{T}, \quad (4.7)$$

где  $H_a$  – годовая норма амортизации, %;  $T$  – нормативный срок службы.

Нормативный срок службы ( $T$ ) 10 лет.

Годовая норма амортизации составит:

- для I варианта  $6692,56 \text{ тыс. руб.} \cdot 0,1 = 669,25 \text{ тыс. руб.};$
- для II варианта  $6007,53 \text{ тыс. руб.} \cdot 0,1 = 600,75 \text{ тыс. руб.}$

Таблица 4.3 – Основные технико-экономические показатели сравниваемых проектов

I вариант	II вариант
Прокладка канализационных с трубопроводов с $h = 3,2$ м	Прокладка канализационных с трубопроводов с $h = 1,5$ м
Годовая производительность системы	Годовая производительность системы
$Q = 10,57$ млн м <sup>3</sup>	$Q = 10,57$ млн м <sup>3</sup>
Капитальные вложения в строительство системы $K = 6692,56$ тыс. руб. в том числе НДС 20%	Капитальные вложения в строительство системы $K = 6007,53$ тыс. руб. в том числе НДС 20%
Удельные капитальные вложения $K_{уд} = 0,63$ руб. / м <sup>3</sup> воды	Удельные капитальные вложения $K_{уд} = 0,56$ руб. / м <sup>3</sup> воды
Стоимость строительства сети канализации 6692,26 тыс. руб.	Стоимость строительства сети водовода 6007,53 тыс. руб.
Протяжённость сети 1,0 км	Протяжённость сети 1,0 км
Стоимость строительства 1 пог. м сети	Стоимость строительства 1 пог. м сети
6,6 тыс. руб.	6,07 тыс. руб.
Годовые эксплуатационные расходы системы канализации 669,25 тыс. руб.	Годовые эксплуатационные расходы системы канализации 600,75 тыс. руб.

Расчёты экономической эффективности по базовому варианту

*Определение величины чистого приведённого эффекта NPV*

Для окончательного выбора наиболее экономически выгодного варианта были найдены чистые доходы обоих вариантов по следующей методике. Сначала была определена величина годового расхода  $P_k$

- для I варианта  $P_1 = 669,25$  тыс. руб.;
- для II варианта  $P_2 = 600,75$  тыс. руб.

Далее вычислена общая накопленная величина дисконтированных доходов  $PV$  и чистый приведенный эффект  $NPV$  по формулам (4.8)–(4.10).

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}, \quad (4.8)$$

где  $P_k$  – годовые расходы;  $IC_j$  – исходные инвестиции;  $r$  – дисконт равная учётной ставке ЦБ РФ;  $k$  – шаг расчёта, годы;  $n$  – горизонт расчёта.

На основании технико-экономических показателей (таблица 4.2) для базового варианта годовые эксплуатационные затраты составляют 669,25 тыс. руб. Далее ведется расчёт дисконтирования величины годового расхода. Дисконт равен 5,5% ключевой ставке ЦБ России по состоянию на 21.06.2021 г. Приведем в денежном выражении дисконтированные доходы по каждому году ( $k$  от 1 до 15 )

$$PV_1 = \frac{669,25}{(1+0,055)^1} = 634,36 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_8 = \frac{669,25}{(1+0,055)^8} = 437,41 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_2 = \frac{669,25}{(1+0,055)^2} = 602,93 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_9 = \frac{669,25}{(1+0,055)^9} = 415,68 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_3 = \frac{669,25}{(1+0,055)^3} = 572,0 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{10} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{10}} = 393,67 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_4 = \frac{669,25}{(1+0,055)^4} = 544,1 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{11} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{11}} = 371,8 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_5 = \frac{669,25}{(1+0,055)^5} = 514,81 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{12} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{12}} = 352,23 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_6 = \frac{669,25}{(1+0,055)^6} = 488,5 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{13} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{13}} = 334,62 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_7 = \frac{669,25}{(1+0,055)^7} = 461,55 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{14} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{14}} = 317,2 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{15} = \frac{669,25}{(1+0,055)^{15}} = 300,11 \text{ тыс. руб.}$$

Общая накопленная величина дисконтированных доходов будет вычислена как сумма  $PV$  за каждый год:

$$\begin{aligned} PV &= \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} = 634,36 + 602,93 + 572,0 + 544,1 + 514,81 + 488,5 + 416,55 + \\ &+ 437,41 + 415,78 + 393,67 + 371,8 + 353,23 + 334,62 + 317,2 + 300,11 = \\ &= 6740,97 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Чистый приведённый эффект тот же период

$$NPV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC = 6740,97 - 6692,56 = 48,41 \text{ руб.}$$

Чистый приведенный эффект составляет 48,41 руб. Проект эффективный, так как  $NPV > 0$ , при его сроке эксплуатации в течение 15 лет.

*Индекс рентабельности PI* базового варианта прокладки канализационной сети:

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} \div IC = \frac{6740,97}{6692,56} = 1,007.$$

Рентабельность инвестиции удовлетворяет условиям  $PI > 1$ .

Для определения внутренней нормы доходности ( $IRR$ ) используем формулу интеграции.

Алгоритм определения данного показателя, следующий:

– экспертным путём выбираются два значения коэффициента дисконтирования  $r_1 < r_2$ , таким образом, чтобы в интервале  $(r_1, r_2)$  функция  $NPV = f(r)$  могла менять своё значение с «+» на «-» или с «-» на «+»;

– определяется значение  $IRR$  по следующей формуле:

$$IRR = r_1 + \frac{f(r_1)}{f(r_1) - f(r_2)} \cdot (r_2 - r_1) \quad (4.11)$$

где  $r_1$  – значение коэффициента дисконтирования, при котором  $f(r_1) > 0$ ,  $f(r_2) < 0$ ;

$r_2$  – коэффициент дисконтирования, при котором  $f(r_2) < 0$ ,  $f(r_1) > 0$ .

В качестве  $r_2$  используем 8 %. Тогда  $NPV$  составит

$$NPV_2 = \sum_{k=1}^n \frac{669,25 \cdot 15}{(1+0,08)^k} - 6692,56 = \frac{10038,75}{3,17} - 6692,56 = -3525,76 \text{ тыс. руб}$$

$$IRR = 5,5 + \frac{48,41}{48,41 + 3525,76} \cdot (8 - 5,5) = 5,53\%$$

Условия удовлетворяют, поскольку  $IRR (5,53\%) > r (5,5\%)$ .

*Срок окупаемости проекта*

$$DPP = \frac{IC}{PV_{\text{ср.годовой}}} = \frac{6692,57}{449,4} = 14,89 \text{ лет}$$

где  $PV_{\text{ср. годовой}}$  – среднегодовой дисконтированный чистый приток

$$\left[ PV = \frac{\sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}}{n} \right];$$

$IC$  – исходные инвестиции.

$$\begin{aligned} PV_{\text{ср. годовой}} &= (634,36 + 602,93 + 572,0 + 544,1 + 514,81 + 488,5 + 416,66 + \\ &+ 437,41 + 415,78 + 393,67 + 371,8 + 353,23 + 334,62 + \\ &+ 317,2 + 300,11) / 15 = 6740,97 / 15 = 449,4 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Расчёты экономической эффективности по предлагаемому варианту

*Чистый дисконтированный доход (NPV)*

$$PV_1 = \frac{600,75}{(1+0,055)^1} = 569,43 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_8 = \frac{600,75}{(1+0,055)^8} = 392,64 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_2 = \frac{600,75}{(1+0,055)^2} = 541,21 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_9 = \frac{600,75}{(1+0,055)^9} = 373,13 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_3 = \frac{600,75}{(1+0,055)^3} = 513,46 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{10} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{10}} = 353,38 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_4 = \frac{600,75}{(1+0,055)^4} = 488,41 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{11} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{11}} = 333,75 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_5 = \frac{600,75}{(1+0,055)^5} = 426,11 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{12} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{12}} = 316,18 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_6 = \frac{600,75}{(1+0,055)^6} = 438,5 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{13} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{13}} = 300,37 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_7 = \frac{600,75}{(1+0,055)^7} = 414,31 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{14} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{14}} = 284,71 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV_{15} = \frac{600,75}{(1+0,055)^{15}} = 269,39 \text{ тыс. руб.}$$

$$PV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} = 6014,98 \text{ тыс. руб.}$$

$$NPV = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} - IC = 6014,98 - 6007,53 = 7,45 \text{ руб.}$$

Чистый приведенный эффект составляет 7,45 руб. Проект эффективный так как  $NPV > 0$ , при его сроке эксплуатации в течение 15 лет.

Индекс рентабельности  $PI$  предлагаемого варианта прокладки канализационной сети:

$$PI = \frac{\sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k}}{IC} = \frac{6014,98}{6007,53} = 1,001$$

Рентабельность инвестиции удовлетворяет условиям  $PI > 1$ .

Внутренняя норма доходности ( $IRR$ )

В качестве  $r_2$  используем 8 %. Тогда  $NPV$  составит:

$$NPV_2 = \sum_{k=1}^n \frac{600,75 \cdot 15}{(1+0,08)^k} - 6007,53 = \frac{9011,25}{3,17} - 6007,53 = -3164,86 \text{ тыс. руб.}$$

$$IRR = 5,5 + \frac{7,45}{7,45 + 3164,86} \cdot (8 - 5,5) = 5,5 \% .$$

Условия удовлетворяют, поскольку  $IRR (5,505 \%) > r (5,5 \%)$ .

## Срок окупаемости проекта

$$DPP = \frac{IC}{PV_{\text{ср.годовой}}} = \frac{6007,53}{401,0} = 14,98 \text{ лет.}$$

Оценка эффективности прокладки инвестиционного проекта сравниваемых проектов приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Оценка эффективности инвестиционного проекта (сравнение вариантов)

Показатели эффективности	Значение	
	базовое	предлагаемое
Ставка дисконтирования, %	5,5 % <sup>1</sup>	5,50%
Уровень инфляции, %	5 % <sup>2</sup>	5%
Чистый дисконтированный доход (NPV), руб	48,41	7,45
Индекс доходности (PV), %	7	1
Индекс рентабельности	1,007	1,001
Внутренняя норма доходности (IRR), %	5,53	5,505
Дисконтированный срок окупаемости	14,89	14,98
Примечания. <sup>1</sup> Учётная ставка рефинансирования (ключевая ставка) ЦБ России на 21.06.2021 г. <sup>2</sup> Уровень инфляции на 21.06.2021 г. Поскольку уровень инфляции не значительная, поэтому ее в расчёте экономической эффективности не учитывали.		

На основе полученных расчётов вариант мелкозаглубленной экономически более эффективен, поскольку все показатели экономической эффективности удовлетворяют требованиям инвестора. Показатели экономической эффективности двух вариантов одинаковы, однако в предлагаемом нами варианте прокладки канализационной сети имеются дополнительные преимущества, а именно: сметная стоимость прокладки системы канализации ниже на 685 тыс. руб. (10,2 %). Также следует отметить, что проект предложенный мелкозаглубленной прокладки имеет минимальные затраты. Экономический эффект от прокладки одного километра канализационного трубопровода мелкого заложения составляет 685 тыс. руб.

Сравнительная экономическая эффективность двух проектов  
по минимальным затратам

Себестоимость продукции на стадии сравнения вариантов по прокладке канализационных сетей определена по формуле:

$$C = M + \mathcal{E} + \mathcal{Z}_p + A + P_{\phi} \quad (4.12)$$

где  $C$  – себестоимость продукции (годовые эксплуатационные расходы), млн руб.;

$M$  – затраты на материалы, млн руб.;

$\mathcal{E}$  – затраты на производственную электроэнергию (на подъем и подачу воды), млн руб.;

$\mathcal{Z}_p$  – заработная плата основного производственного персонала, млн руб.;

$A$  – амортизационные отчисления, млн руб.;

$P_{\phi}$  – затраты на ремонтный фонд, млн руб.

В нашем расчёте затраты на производственную электроэнергию системы канализации с протяжённостью 1 км не учитывается, так как для самотечной системы канализации электроэнергия не требуется.

Себестоимость продукции на стадии сравнения вариантов по прокладке канализационных сетей определяется по формуле:

$$C = M + \mathcal{Z}_p + A + P_{\phi}$$

1) для базового варианта:

$$C_I = M_I + \mathcal{Z}_{pI} + A_I + P_{\phi I} = 433,57 + 41,18 + 1115,42 + 133,85 = 1724,02 \text{ тыс.руб.};$$

2) для предлагаемого варианта:

$$C_{II} = M_{II} + \mathcal{Z}_{pII} + A_{II} + P_{\phi II} = 433,57 + 20,30 + 961,20 + 120,15 = 1535,22 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные затраты для двух вариантов определяются по формулам:

$$Z_I = C_I + E_n \cdot K_I,$$

$$Z_{II} = C_{II} + E_n \cdot K_{II},$$

где  $C$  – себестоимость продукции, вычисляемая по формуле (4.12) [95], тыс. руб.;

$K$  – капитальные вложения, тыс. руб.

$E_n$  – коэффициент окупаемости капитальных вложений, равный  $0,125 \text{ год}^{-1}$ .

Рассчитаем приведенные затраты для двух вариантов:

$$Z_I = C_I + E_n \cdot K_I = 1724,03 + 0,125 \cdot 6692,56 = 2560,60 \text{ тыс. руб.}$$

$$Z_{II} = C_{II} + E_n \cdot K_{II} = 1535,22 + 0,125 \cdot 6007,53 = 2286,16 \text{ тыс. руб.}$$

На основе сравнительной экономической эффективности по приведенным минимальным затратам наилучшим вариантом является предлагаемый вариант – мелкозаглубленная канализационная система.

### **Выводы по четвёртой главе**

1. Экономический эффект от применения мелкозаглубленной прокладки канализации для районов с глубоким сезонным промерзанием составил 685,03 тыс. руб. в год. Экономический эффект возникает, прежде всего, за счет снижения объёмов земляных работ. Применение мелкозаглубленной прокладки сети канализации позволяет уменьшить глубину заложения трубопровода в среднем на 1 м.

2. Экономический эффект внедрения разработанных положений может быть получен за счет сокращения ущерба от предотвращенных аварий, вызываемых деформацией трубопроводов с нарушением их герметичности вследствие изменения физико-механических свойств грунта.

3. Трудовые затраты на земляные работы при применении мелкозаглубленной прокладки по сравнению с трудовыми затратами для обычной прокладки сократились в 2 раза, а продолжительность работы машин на земляных работах сокращается в 2–3 раза. Полученные результаты данной работы позволяют определять максимальные риски проекта, прежде всего в технико-экономическом плане.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ опыта строительства и эксплуатации канализационных сетей в различных регионах РФ с глубоким сезонным промерзанием грунтов показывает возможность применения мелкозаглубленных канализационных трубопроводов.

2. На основе натуральных исследований, проведённых на действующей канализационной сети в Кызыле в зимний период, установлено, что значения температуры сточной воды в канализационном выпуске из здания в течение суток меняются от 8,4 до 22,3 °С, самая высокая температура приходится на утренние часы (7:00–8:00).

3. Проведенные натурные исследования температурного режима трубопровода по длине действующей канализационной сети, показали, что в конечной точке исследуемой трассы температура сточной воды имеет положительную температуру в пределах 5,6–9,8 °С, что свидетельствует о достаточном тепловом потенциале и запасе надежности трассы от перемерзания при эксплуатации.

4. Новизна выполненной работы состоит в принципиально новом комплексном подходе к исследованию вопросов, посвященных обоснованному уменьшению глубины заложения канализационных выпусков в условиях с глубоким сезонным промерзанием грунтов, заключающееся в методике проведения натуральных исследований по определению фактических значений температуры сточной воды в канализационном выпуске в зимний период и её изменений по длине действующей канализационной сети, а также экспериментальных исследований в лабораторных условиях по определению размеров талика в мерзлом грунте, с применением современных приборов, прежде не применявшихся для аналогичных условий.

5. Экспериментально в лабораторных условиях определены размеры талика при пропуске по трубопроводу воды с разной температурой, с различной степенью его заполнения. Установлено, что для трубопровода, работающего при степени заполнения  $h/d = 0,5$ , соотношение толщины оттаявшего грунта сверху и снизу трубы возрастает при температуре воды 40 °С на 32 %, при 20 °С – на 27 %, при

1°C – на 9%. Сравнение размеров талика, полученных по результатам эксперимента и с расчётными данными, показало, что экспериментальные размеры талика превышают расчётные на 8–12 %.

6. Проведенные экспериментальные исследования размеров талика, образующегося при пропуске по трубопроводу, уложенному в мёрзлом грунте, показали, что расчетные значения размеров талика, выполненные для условий эксперимента по формуле профессора Порхаева Г.В., имеют фактическое расхождение в сторону уменьшения размеров талика на 8-12 %. Таким образом, на основе эксперимента можно утверждать, что используемые проектировщиками формулы профессора Порхаева Г.В. имеют запас от промерзания до 12%, и проектировщиками можно не закладывать дополнительные мероприятия для увеличения времени промерзания талика.

7. Установлено, что глубину заложения канализационного выпуска из здания в условиях г. Кызыл и аналогичных ему природных условиях следует принимать равной 1,5 м, то есть, в сравнении с нормируемой, глубина заложения уменьшается на 1,7 м.

8. Получены экспериментальные зависимости для определения новых параметров «защитное время» (ЗВ) и «время восстановления» (ВВ) участков канализационной сети, которые позволяют определить минимальные величины начальной глубины их заложения при сохранении надежности работы сети, сокращать сроки и стоимость ремонтно-восстановительных работ. Установлено, что основная часть ЗВ обусловлена временем промерзания талика, которая по сравнению со временем остывания сточной воды выше на 60%. Значительная продолжительность времени промерзания талика обусловлена температурой сточной воды и наполнением трубы  $h/d$ .

9. Разработаны методика и программа для ЭВМ по определению минимальной глубины заложения канализационных трубопроводов, обеспечивающей бесперебойную работу системы водоотведения.

10. Определена экономическая эффективность прокладки канализационных трубопроводов за счет уменьшения глубины заложения в условиях глубокого

сезонного промерзания грунтов, что позволяет снизить строительную стоимость и сократить сроки строительства за счет уменьшения объёма земляных работ; минимизировать трудоемкость ремонтных и восстановительных работ. Предложенный способ прокладки повышает безопасность строительства и эксплуатации сети; дает возможность быстро обнаруживать и устранять аварии, уменьшать объёмы и сокращать сроки ремонтных и аварийно-восстановительных работ.

11. Экономия от прокладки для чугунного трубопровода диаметром 300 мм при глубине заложения 1,5 м вместо базового варианта 3,2 м на 1 км составляет 685 тыс. руб.

### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы**

1. Разработанную методику по расчёту минимальной глубины заложения канализационных трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов адаптировать для использования в регионах с многолетнемёрзлыми грунтами.

2. Включить материалы исследования в редакцию СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» при дальнейшей актуализации в части проектирования уменьшения глубины заложения канализационных выпусков в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Агапкин, В. М. Справочное руководство по расчётам трубопроводов / В.М. Агапкин, С. Н. Борисов, Б. Л. Кривошеин. – Москва : Недра, 1987. – 191 с.
2. Айнбиндер, А. Б. Расчёт магистральных и промышленных трубопроводов на прочность и устойчивость. – Москва : Недра, 1991. – 287 с.
3. Алексеев, М. И. Городские инженерные сети и коллекторы : учебное пособие / М. И. Алексеев, В. Д. Дмитриев, В. Д. Дмитриев, Е. М. Быховский, А. Н. Ким, А. Н. Лядинов. – Ленинград : Стройиздат. Ленинградское отделение, 1990 – 384 с.
4. Алексеев, М. И. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации : учебное пособие по специальности «Водоснабжение, канализации, рациональное использование и охрана водных ресурсов / М. И. Алексеев, Б. Г. Мишуков, В. Д. Дмитриев, Ю. С. Сергеев. – Москва : Высшая школа, 1993. – 277 с.
5. Алексеев, М. И. Режим водоотведения в сети бытовой канализации / М. И. Алексеев, Л. А. Самойленко. – // Новые методы и сооружения для водоотведения и очистки сточных вод : межвузовский тематический сборник трудов. – Ленинград : ЛИСИ, 1980. – С. 30-37.
6. Алексеев, М. И. Надёжность систем водоотведения : монография / М. И. Алексеев, Ю. А. Ермолин. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2010. – 166 с.
7. Альтшуллер, Л. М. Температурное поле цилиндрического источника в полуорганическом массиве / Л. М. Альтшуллер // Инженерно-физический журнал. – 1961. – № 3. – Т. IV.
8. Альтшуллер, Л. М. К вопросу о зоне действия неизолированной трубы в массиве / Л. М. Альтшуллер // Журнал технической физики. – 1959. – № 2. – С. 29.
9. Андрияшев, М. М. Гидравлические и тепловые расчёты водопроводных линий и сетей. – Москва : Издательство МКХ РСФСР, 1949. – 172 с.
10. Андрияшев, М. М. Техника расчёта водоводов и водопроводных сетей. – Москва : Издательство МКХ РСФСР, 1949.

11. Аронс, А. А. Исследование теплопередачи от подземных трубопроводов методом моделирования / А. А. Аронс, С. С. Кутуладзе // Журнал технической физики. – 1935. – Вып. 9. – Т. V.
12. Бабин, Л. А. Типовые расчёты при сооружении трубопроводов / Л. А. Бабин, П. Н. Григоренко, Е. Н. Ярыгин. – Москва : Недра, 1995. – 256 с.
13. Бобров, Ю. Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю. Ю. Бобров. – Москва : ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
14. Бородавкин, П. П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве. – Москва : Недра, 1977. – 520 с.
15. Бородавкин, П. П. Подземные трубопроводы. – Москва : Недра, 1973. – 304 с.
16. Вершин, А. А. Надземные и мелкозаглубленные водопроводные сети // Водоснабжение и канализация населенных мест в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Ленинград : ЛИСИ, 1970.
17. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения : справочник / под редакцией Б. Н. Репина. – Москва : Высшая школа, 1995. – 431 с.
18. Водоснабжение и канализация населенных мест в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера : материалы Всесоюзной конференции. – Ленинград : ЛИСИ, 1966.
19. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
20. Вялов, С. С. Реология мёрзлых грунтов. – Москва : Стройиздат, 1999. – 460 с.
21. Горячева, И. А. Исследование теплового поля грунта с водоводом, проложенным в зоне сезонного промерзания / И. А. Горячева // Инженерно-физический журнал. – 1960. – Т. 3. – № 10.
22. Георгиев, К. Д. Опыт проектирования строительства и эксплуатации санитарно-технических сетей в Магаданской области / К. Д. Георгиев // Проблемы

строительства и проектирования на Крайнем Севере : материалы I Магаданскообластной научно-технической конференции по строительству и архитектуре. – Магадан. – 1971. – С. 124-133.

23. Гинзбург, А. В. Повышение эффективности работы систем водоснабжения водоотведения в сложных природных условиях : диссертация кандидата технических наук : 05.23.04 / Гинзбург Александр Владимирович ; Московский государственный строительный университет. – Москва, 2005 – 265 с.

24. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000030> (дата обращения: 09.06.2021).

25. Гребер, Г. Основы изучения о теплообмене (перевод с немецкого). – Москва : Издательство иностранной литературы, 1958. – 566 с. – Текст : непосредственный.

26. Далматов, Б. И. Особенности строительства фундаментов в районах глубокого промерзания / Б. И. Далматов // Рациональные методы устройства фундаментов в районах глубокого сезонного промерзания грунтов. Выпуск I. – Ленинград. – 1964.

27. Дмитриев, А. В. Городские инженерные сети / А. В. Дмитриев, А. Г. Кетков. – Москва : Стройздат, 1987.

28. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник 2. Земляные работы, Выпуск I. Механизированные и ручные земляные работы. – Москва : Атомиздат, 1969. – 193 с.

29. Жмудь, А. Д. О рациональном проектировании и прокладок инженерных коммуникаций при строительстве на не просадочных грунтах / А. Д. Жмудь, К. Ф. Шишкенов, Н. В. Никулина // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Сборник 4. – Красноярск. – 1963.

30. Заборщиков, О. В. Исследования, связанные с рациональным устройством канализационных сетей подземной прокладки в условиях вечномёрзлых грунтов : диссертация кандидата технических наук : 05.23.02 / Заборщиков Олег Васильевич. – Ленинград, 1967 – 242 с.

31. Заборщиков, О. В. Определение расчётных расходов сточных вод при расчёте бытовых канализационных сетей населенных мест / О. В. Заборщиков, А. И. Сергеев // Санитарная техника : сборник трудов. – Ленинград : ЛИСИ, 1971. – № 69.
32. Заборщикова, Н. П. Глубина прокладки канализационных сетей. – Ленинград : Труды НИИПГрадостроительства, ПГС, 1998. – 236 с.
33. Зелгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – Москва : Наука, 1976. – 390 с.
34. Золотов, И. И. Метод теплотехнического расчёта минимальной допустимой глубины заложения трубопроводов : автореферат диссертации кандидата технических наук : 05.23.03 / Золотов Игорь Иванович. – Москва, 1993 – 29 с.
35. Инженерное оборудование зданий и сооружений : энциклопедия / главный редактор С. В. Яковлев. – Москва : Стройиздат, 1994. – 512 с.
36. Калицун, В. И. Водоотводящие системы и сооружения : учебник для вузов. – Москва : Стройиздат, 1987. – 336 с.
37. Калицун, В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация : учебное пособие для вузов / В. И. Калицун, В. С. Кедров, Ю. М. Ласков. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Стройиздат. 2002. – 398 с.
38. Каменский, Р. М. Тепловое взаимодействие подземных водопроводов с мёрзлыми грунтами при нестационарном теплообмене (отчет). – Якутск : Фонды Института мерзлотоведения АН СССР, 1964.
39. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / под редакцией В. Н. Самохина. – 2-е издание. – Москва : Стройиздат, 1981. – 639 с.
40. Клейн, Г. К. Расчёт подземных трубопроводов. – Москва : Стройиздат, 1969. – 240 с.
41. Коновалов, А. А. К методике определения температурных полей грунта в основаниях инженерных коммуникаций / А. А. Коновалов // Прокладка инженерных сетей в Северных районах страны : материалы научно-технического совещания. Выпуск 2. – Красноярск. – 1972.

42. Кудрявцев А.С., Матосов Ю.Ю., Судникович В.Г., Ямщикова И.В. / Технико-экономическое обоснование инвестиций в строительство безнапорной канализационной сети из двухслойных гофрированных полиэтиленовых труб КОРСИС / А.С. Кудрявцев, Ю.Ю. Судникович, И.В. Ямщикова. – Текст // Молодежный вестник ИрГТУ. 2011. № 3. С. 14.

43. Краткий статистический сборник / Тывастат. – Кызыл, 2009. – 30 с.

44. Кривошеин, Б. Л. Экспериментальные исследования теплопередачи от труб, уложенных в грунт / Б. Л. Кривошеин, Л. П. Семенов // Инженерно-физический журнал. – 1967. – Т. 13. – № 1.

45. Лазарев, Ю. Г. Строительство наружных сетей водопровода и канализации : учебное пособие / Ю. Г. Лазарев, М. П. Клековкина. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2014. – 105 с.

46. Левченко, А. П. Устройство сетей водопровода и канализации на просадочных грунтах. – Москва : Издательство МГПУ, 1995. – 66 с.

47. Лукьянов, В. С. Расчёт глубины промерзания грунтов / В. С. Лукьянов, М. Д. Головкин. – Москва : Трансжеллориздат, 1957.

48. Майны, Ш. Б. Анализ опыта строительства и эксплуатации канализационных трубопроводов в районах глубоко сезонного промерзания грунтов / Ш. Б. Майны, О. В. Заборщиков // Актуальные проблемы современного строительства : сборник докладов 62-й международной научно-технической конференции молодых учёных / Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург. – 2009. – Ч. IV. – С. 13-17.

49. Майны, Ш. Б. Анализ существующей системы канализации г. Кызыл / Ш. Б. Майны // Материалы Республиканской научно-практической конференции студентов «Молодежь и инновации: опыт, проблемы, перспективы» с межрегиональным участием. – Кызыл : ТувГУ – 2012. – С. 18-19.

50. Майны, Ш. Б. Аналитическая модель теплотехнического расчёта канализационных сетей в условиях глубокого сезонного промерзания грунта / Ш. Б. Майны // Вестник Тувинского государственного университета. Выпуск 3. – Кызыл : ТувГУ. – 2011. – С. 39-42.

51. Майны, Ш. Б. Изучение физико-механических свойств талых и мёрзлых грунтов (г. Кызыл) / Ш. Б. Майны // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. Выпуск 3. – Кызыл : ТувГУ, 2012. – С. 90-94.

52. Майны, Ш. Б. О глубине прокладки канализационных трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунта (на примере г. Кызыла) / Ш. Б. Майны, О. В. Заборщиков // Актуальные проблемы современного строительства : сборник докладов 61-й Международной научно-технической конференции молодых учёных / Санкт-Петербургский государственный архитектурный строительный университет. – Санкт-Петербург. – 2008. – Ч. 3. – С. 70–72.

53. Майны, Ш. Б. О теплотехническом расчёте канализационных сетей в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов / Ш. Б. Майны, О. В. Заборщиков // Актуальные проблемы современного строительства : сборник материалов 63-й международной научно-технической конференции молодых учёных / СПбГАСУ. – Санкт-Петербург. – 2010. – Ч. 3. – С. 13-17.

54. Майны, Ш. Б. Особенности проектирования систем водоснабжения и канализации на генеральном плане г. Кызыла / Ш. Б. Майны, Ч. Д. Хомушку // Сборник научных работ студентов ТувГУ Выпуск 3. – Кызыл : ТувГУ. – 2012. – С. 45-46.

55. Майны, Ш. Б. Проблемы бесканальной прокладки трубопроводов в горных регионах (на примере Республики Тыва) / Майны Ш. Б // Естественные и технические науки. – 2014. – № 7(75). – С. 114-118.

56. Майны, Ш. Б. Температурный режим сезоннопромерзающих грунтов (на примере г. Кызыла) / Ш. Б. Майны // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 10. – С. 51-52.

57. Майны, Ш. Б. Теплоизоляционные материалы, применяемые для утепления канализационных трубопроводов (прокладываемых в зоне отрицательных температур) / Майны Ш. Б // Научные труды Тувинского государственного университета. Выпуск 4. – Кызыл : Издательство ТувГУ, 2008. – Т. 2 — С. 80-82.

58. Майны, Ш. Б. Трассировка и схемы канализационных сетей / Ш. Б. Майны, О. В. Заборщиков // Сборник тезисов докладов 4-ой конференции аспирантов и молодых учёных Тувинского государственного университета. – Кызыл : Издательство ТывГУ, 2010. – С. 38-39.

59. Майны, Ш. Б. Учёт однородности грунта в методиках теплотехнического расчёта канализационных трубопроводов в условиях глубокого сезонного промерзания грунта / Ш. Б. Майны // Естественные и технические науки. – 2011. – № 3. – С. 520-523.

60. Майны, Ш. Б. Особенности взаимодействия безнапорных канализационных трубопроводов подземной прокладки с несогласующимися грунтам / Ш. Б. Майны, С. С. Седип // Естественные и технические науки. – 2015. - №1(79). – С. 144-146.

61. Майны, Ш. Б. Анализ аварий канализационных трубопроводов (на примере г. Кызыла) / Ш. Б. Майны // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №3 (50). – С. 197-201.

62. Майны, Ш. Б. Методика определения минимальной глубины заложения начального участка канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов, Н. П. Заборщикова // Вестник гражданских инженеров. – 2016. №3(56). – С. 116-122.

63. Майны, Ш. Б. Водопроводные сети г. Кызыла (анализ за 2015-2017 годы) / Ш.Б. Майны // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2018. №3(38). – С. 15 – 19.

64. Майны, Ш. Б. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 12. – С. 42-47.

65. Майны, Ш. Б. Экспериментальное исследование оттаивание грунта вокруг канализационных трубопроводов мелкого заложения в зимнее время / Ш. Б. Майны, Л. Д. Терехов, Н. А. Черников // Вода и экология : проблемы и решения. – 2019. – № 4 (80). – С. 71-78.

66. Майны Ш.Б. Терехов Л.Д. Математическое моделирование глубины заложения канализационного трубопровода в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020614814: дата гос. рег. 25.04.2020 г.

67. Матюшенко, А.И. Инженерные методы защиты коллекторов и сооружений от обратного подпора // Д. Б. Тугужаков, Ю. Л. Сколубович. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 11(767). – С. 64-71.

68. Мачинский, В. Д. Теплопередача в строительстве. – Москва–Ленинград : Госстройиздат, 1939.

69. Методические рекомендации по прокладке канализационных сетей в зоне сезонного промерзания грунта. – Ленинград, 1991.

70. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – Москва : Экономика, 2000. – 421 с.

71. Мячкова, Н. А. Климат / Н. А. Мячкова // Новая российская энциклопедия. – Москва. – 2003. – Т. 1. – С. 54- 55.

72. Микростроение мёрзлых пород / под редакцией Э. Д. Ершова. – Москва : Издательство МГУ, 1988. – 183 с.

73. Научный отчет по теме «Провести исследования и разработать концепцию развития города Ак-Довурак, варианты схемы расселения, схему экологической оценки окружающей среды и генеральный план по выбранному варианту». – Санкт-Петербург, 1992. – 114 с.

74. Научный отчет по теме 319-89 «Проектирование, строительство и эксплуатация сетей канализации, уложенных в зоне сезонного промерзания грунта». – Ленинград, 1990. – 109 с.

75. Носин, В. А. Почвы Тувы. – Москва : Академия Наук СССР, 1963. –100 с.

76. Нусупбекова, Д. А. Тепловой режим надземных трубопроводов в зимних условиях / Д. А. Нусупбекова ; Казахский НИИ энергетики. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1988. – 171 с. – Библиогр.: с. 166-172 (155 назв.). – ISBN 5-628-00097-3 : Б. ц.

77. Орлов, В. О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В. О. Орлов, Ю. Д. Дубнов, Н. Д. Меренкова. – Ленинград : Стройиздат, 1977. – 184 с.

78. Отчет. Результат 8.4.69. Рекомендации по глубине заложения санитарно-технических сетей с попутным электроподогревом для районов с глубоким зимним промерзанием. – Красноярск, 1973. – 160 с.

79. Пат. 2802728 Российская Федерация, МПК F17D5/00, E03B7/12. Устройство защиты трубопровода в грунте от промерзания / Майны Ш.Б., Терехов Л.Д.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТувГУ»; заявл. 14.06.22; опубл. 31.08.23.

80. Пащенко, Н. Е. Инженерное оборудование зданий и сооружений : учебное пособие для студентов вузов. – Москва : Высшая школа, 1981. – 44 с.

81. Петруничев, Н. Н. Определение тепловых потерь напорными и безнапорными трубопроводами, уложенными в мёрзлый грунт / Н. Н. Петруничев, Г. С. Щадрин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1946. – № 5.

82. Поисеева, А. И. Способы прокладки и типы водопроводных труб в условиях Крайнего Севера : межведомственный сборник научных трудов. – Якутск : ЯГУ, 1979. – 126 с.

83. Порхаев, Г. В. Методика теплотехнических расчётов теплового взаимодействия нефте- и -газопроводов с промерзающим и протаивающими грунтами // Материалы к изучению о мёрзлых зонах земной коры. Вып. 3. – Москва : Издательство АН СССР, 1962.

84. Порхаев, Г. В. Пособие по теплотехническим расчётам санитарно-технических сетей, прокладываемых в вечномёрзлых грунтах / Г. В. Порхаев, Л. П. Александров, Л. П. Семенов, Ю. Л. Шур. – Москва : Стройиздат, 1971. – 73 с.

85. Прозоров, И. В. Гидравлика, водоснабжение и канализация : учебное пособие для строительных специальных вузов / И. В. Прозоров, Г. И. Николадзе, А. В. Минаев. – Москва : Высшая школа, 1995. – 448 с.

86. Пособие по проектированию сетей водоснабжения и канализации в сложных инженерно-геологических условиях (к СНиП 2.04.02-84 и 2.04.03 85). – Москва : Союзводоканал проект, 1990. – 56 с.

87. Постановление Правительства Республики Тыва от 30 декабря 2009 г. № 660 об утверждении республиканской целевой программы «Модернизация объектов коммунальной инфраструктуры республики Тыва на 2010 год». – URL: <https://base.garant.ru/28711648/> (дата обращения: 09.06.2021).

88. Пояснительная записка анализа производственной деятельности к годовому отчету за 2009 год ООО «Водопроводно-канализационные системы».

89. Проектирование сооружений для очистки сточных вод : справочное пособие к СНИП 2.04.03-85. – Москва : Стройиздат, 1990. – 192 с.

90. Рейтман, И. Н. Техничко-экономические аспекты строительства безнапорных канализационных сетей (обзор) / И. Н. Рейтман // Центр научно-технической информации по строительству и архитектуре. Серия: «Инженерное оборудование» ГКПГСИА при Госстрое СССР. – Москва. – 1975.

91. Рекомендации по малозаглубленной прокладке водопроводов из полиэтиленовых труб в сезоннопромерзающих грунтах районов Сибири. – Красноярск : Красноярский Промстройниипроект, 1986. – 69 с.

92. Рекомендации по проектированию и устройству водоводов и водопроводных сетей, прокладываемых в слое сезонного промерзания грунтов, с попутным электроподогревом. – Красноярск, 1974.

93. Рекомендации по теплотехническим расчётам и прокладке трубопроводов в районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов. – Москва : НИИОСП, 1975. – 91 с.

94. Роман, Л. Т. Механика мёрзлых грунтов. – Москва : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. – 426 с.

95. Розенгарт, Т. К. Техничко-экономическое обоснование выбора проектных решений систем «ВиВ» / Т. К. Розенгарт. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения, 2014. – 36 с.

96. Салтыков, Н. И. Основания и фундаменты в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов. – Москва : Издательство АН СССР, 1959.

97. Сапожников, М. М. Применение пластмасс при строительстве водопроводов. – Ленинград : Лениздат, 1959.

98. Свидетельство о гос. рег. прогр. Для ЭВМ № 2020614814 Математическое моделирование глубины заложения канализационного трубопровода в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов / Майны Ш.Б., Терехов Л.Д. правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тувинский государственный университет» – № 2020614814; заявл.21.04.20.;зарег. в Реестре прогр. Для ЭВМ 25.04.2020.

99. Семенов, Л. П. Тепловой расчёт нефтепровода, уложенного в сезоннопромерзающем грунте / Л. П. Семенов // Материалы к изучению о мёрзлых зонах земной коры. Выпуск. IX. – Москва : Издательство АН СССР, 1963.

100. Соснин, Ю. П. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений : учебник / Е. Н. Бухаркин, К. С. Орлов, О. Р. Самусь и др. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – Москва : Высшая школа, 2008. – 415 с.

101. СН 509-78 Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений : дата введения 01.01.1979. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901708998> (дата обращения: 09.06.2021).

102. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНИП 2.04.02-84. – Москва, 2013. – 47 с.

103. СНИП 11-18-76 Нормы проектирования. – Москва : Стройиздат, 1977, – 47 с.

104. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНИП 2.04.03-85.

105. СНИП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

106. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНИП 2.05.06-85. – Москва, 1985. – 56 с.

107. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНИП 23-01-99. – Москва, 2013. – 77 с.
108. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНИП II-7-81. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084534> (дата обращения: 09.06.2021).
109. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНИП 2.02.04-88. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519> (дата обращения: 09.06.2021).
110. Справочник по проектированию магистральных трубопроводов. Ленинград : Недра, 1977. – 520 с.
111. Тартаковский, Г. А. Строительная механика трубопровода. – Москва : Недра, 1976. – 224 с.
112. Терехов, Л. Д. Технологические основы энергосбережения при подаче воды по водоводам на Севере : диссертация доктора технических наук : 05.23.04 / Терехов Лев Дмитриевич. – Хабаровск, 1999. – 275 с.
113. Терехов, Л. Д. Водоснабжение и водоотведение в северных климатических условиях : учебное пособие / Л. Д. Терехов, О. В. Акимов, Ю. В. Акимова. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2008. – 124 с.
114. Терехов, Л. Д. Аварийность водоводов БАМа Материалы семинара МДНТП / Л. Д. Терехов, А. В. Гинзбург // Обеспечение надёжности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. – Москва : МДНТП, 1989. – С. 63-66.
115. Технические условия на проектирование в г. Нефтеюганске 1109-579. – Ленинград : ЛенНИИП градостроительства, 1981.
116. Тепловые расчёты оснований в районах вечной мерзлоты. – Магадан : [б. и.], 1963. – 104 с., 5 л. Табл. : ил., карт.; 26 см. – (Труды Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института / Сибирское отделение Академии наук СССР. Вып. 4).
117. Трубы и детали трубопроводов из полимерных материалов : справочные материалы // под редакцией В. С. Ромейко. – Москва : ТОО «Издательство ВНИИМП», 2001. – 126 с.

118. Федоров, Н. Ф. Справочник по проектированию систем водоснабжения и канализации в районах вечномёрзлых грунтов / Н. Ф. Федоров, О. В. Заборщиков. – Ленинград : Стройиздат Ленинградское отделение, 1979. – 160 с.
119. Федоров, Н. Ф. Канализационные сети. Примеры расчётов : учебное пособие для вузов / Н. Ф. Федоров, А. М. Курганов, М. И. Алексеев. – 3-е издание. – Москва : Стройиздат, 1985. – 223 с.
120. Феофанов, Ю. А. Современные трубы и изделия для ремонта и строительства инженерных сетей : учебное пособие / Ю. А. Феофанов, А. В. Жуховицкий. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2006. – 152 с.
121. Хибухин, В. П. Математические методы планирования и управления строительством / В. П. Хибулин и др. – Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1985. – 140 с.
122. Шактаржик, К. О. География Тувы : учебное пособие для 9 класса / К. О. Шактаржик, А. Ч. Кылыгдай, О. С. Дамдын. – 5-е издание, переработанное. – Кызыл, 2006.
123. Шлычков Д.И. Допустимый уровень наполнения в трубах самотечных сетей водоотведения с внутренними отложениями / О.А. Продоус // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 8. С. 1064-1072.
124. Шубин, Е. П. О тепловых потерях трубы, уложенной в грунт / Е. П. Шубин // Известия ВТИ. – 1934. – № 4(92).
125. Чернышев, М. Я. Водоснабжение в вечной мерзлоте. – Москва : 1933. – 141 с.
126. Юдин, М. Ю. Совершенствование метода расчёта оледенения водоводов надземной прокладки при перерывах в подаче воды: дисс... канд. техн. наук: 05.23.04 / Юдин Михаил Юрьевич; Университет путей сообщения. – Ленинград, 1994. – 179 с.
127. Яковлев, С. В. Канализация / С. В. Яковлев, Я. А. Карелия, А. И. Жуков, С. К. Колобанов : учебник для вузов. – 5-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Стройиздат, 1975. – 632 с.

128. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – Москва : АСВ, 2004. – 704 с.
129. Яковлев, С. В. Канализация : учебник для техникумов / С. В. Яковлев, Ю. М. Ласков. – 7-е издание, переработанное, и дополненное. – Москва : Стройиздат, 1987. – 319 с.
130. Ястребов, А. Л. Инженерные коммуникации на вечномёрзлых грунтах. – Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1972. – 175 с.
131. Молодой учёный : научный журнал / учредитель ООО «Издательство Молодой учёный» ; директор И. Г. Ахметов. – Казань. – Июнь 2019. – № 25(263). – URL: <http://www.moluch.ru/archive/49/6263/ref=3169&f=1> (дата обращения: 09.06.2021). – Текст : электронный.
132. Koch, K. Druckverlust und wamenbergan gbeiverwirbelter Stromung / K. Koch // VDJ-Forsch. – 1958. – Н. – 469.
133. Lock, G. S. H. Boried water lines experiences in a freezing climate AIAA/ASME / G. S. H. Lock, V. D. Thierman // Termophysics and Heat Transfer Conference Boston Massachusetts. – 1974. – P. 1-8.
134. Petrika, J. Ralation of frost Penetration ti Underground Water Lines / J. Petrika // Journal of the American Water Works Association. – 1951. – № 11. – pp. 911-916.
135. Arora, P. S. Am investigation of the freezing of super cooled liquid in forced turbulent flow inside circular tubes / P. S. Arora, J. R. Howell// International Journal of Heat send Mass Transfer. – 1973. – Vol. 16. – pp. 2077-2085.
136. Cheverey, V. G. Results of Physical Simulation of Frost Heaving in Soils / V. G. Cheverey, E. D. Ershov, VF. MagomedgadAhievs, I. Y. Vidyapin // Permafrost. 7<sup>th</sup> International Conference. – Canada. – 1998. – P. 167-171.
137. Chuvilin, E.V. Ionic migration in frozen soils and ice / E. V. Chuvilin, E. D. Ershay, O. G. Smimova // Permafrost 7<sup>th</sup> international Conference. Proceedings. Yellowknife. – Canada. – 1998. – P. 167-171

138. Fish, A. M. The comparison of USSR and Building Codes for de-sing of the foundation of permafrost / A. M. Fish // Cold Region Science and Technology. – 1983. – Vol. 8. – N 1.
139. Nixon, J. R. Greep and strength of frozen saline fine-grained soils / J. R. Nixon, G. Lem // Can. Geotech J. 21. – 1984. – P. 518-589.
140. Granam, E. B. On the performance of the enthalpy method / E. B. Granam // Int-J. Heal and Mass Transfer. – 1982. – Vol. 25. – N 4. – P. 581-589.
141. Robinsky, E. I. Thickened discharge – A new approach to tailings disposal / E. I. Robinsky // Canadian Mining and Metallurgical Bui. – 1975. – Vol. 68. – N 764. – P. 47-53.
142. Pham, O. T. A fast unconditionally stable finite difference scheme fo-heat conductivity with phase change / O. T. Pham // Int J Heat and Mass Transfer. – 1985. – Vol 28. – N 11. – P. 2079- 2084.
143. Voller, V. R. Accurate solutions of the moving boundary problems usin the enthalpy method / V. R. Voller // Int. J. Heat and Mass Tranfer. – 1981. – Vol. 24. – N 3. – P. 545-556.

## Приложение А – Акт о внедрении диссертационной работы

Справка о внедрении результатов диссертационного исследования

ТЫВА РЕСПУБЛИКАНЫҢ ТУДУГ  
БОЛГАШ КОММУНАЛ  
АЖЫЛ-АГЫЙ ЯАМЫЗЫ



МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И  
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

(667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Калинина, д. 1Б, тел. (394-22 2-44-11)  
e-mail: minstroyrt@rtyva.ru

исх. № *АХ-01-10/05-3241 от 26.05.2021г.*

### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I Майны Ш.Б. на тему «Повышение технико-экономической эффективности прокладки канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях (на примере Республики Тыва)»

Методика расчета минимально допустимой глубины заложения канализационных трубопроводов, предложенная в диссертационной работе аспиранта Майны Шончалай Борисовны, использована и планируется к более широкому применению на канализационных сетях Республики Тыва с целью уменьшения глубины заложения канализационных выпусков до 1,5 м.

Министр строительства и ЖК



А.В. Хунай-оол

## Приложение Б – Акт о внедрении диссертационной работы

Справка о внедрении результатов диссертационного исследования



**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ВОДОКАНАЛ-СЕРВИС»**

667003, Республика Тыва, г.Кызыл, ул. Баянкольская, 5А  
тел./факс: (39422) 6-31-96, E-mail: Vodokanal-s17@mail.ru

№ 0365

«19» май 2021 г.

### АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта кафедры  
«Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО ПГУПС  
Майны Ш.Б. на тему «Повышение технико-экономической эффективности  
прокладки канализационных трубопроводов в суровых климатических  
условиях (на примере Республики Тыва)»**

Результаты диссертационной работы аспиранта Майны Шончалай Борисовны (научный руководитель д.т.н., профессор Терехов Л.Д.) внедрены на опытном участке путем заложения канализационного выпуска на глубине 1,5 м (г. Кызыл, ул. Дружбы, д. 1/5).

Генеральный Директор  
ООО «Водоканал-Сервис»



*[Handwritten signature]*  
В.А. Фалалеев

## Приложение В – Акт о внедрении диссертационной работы

Справка о внедрении результатов диссертационного исследования



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТУВИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ТувГУ)

ул. Ленина, д. 36, г. Кызыл, Республика Тыва, 667000 Тел. (39422) 2-19-69/ Факс(39422)3-03-78  
E-mail: [tu@tuvsu.ru](mailto:tu@tuvsu.ru) www.-сервер: [www.tuvsu.ru](http://www.tuvsu.ru)  
ОКПО 40862125, ОГРН 1021700508719 ИНН/КПП 1701010778/170101001

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ТувГУ  
О.М. Хомушкы  
« 30 » \_\_\_\_\_ 2021 г.



### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта кафедры  
«Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ФГБОУ ВО Петербургского  
государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
Майны Шончалай Борисовны

Комиссия в составе:

Председатель: Саая С.С. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой  
«Строительство и жилищно-коммунальное хозяйство».

Члены комиссии:

Кара-Сал Б.К. – д.т.н., профессор кафедры СиЖКХ;

Дадар А.Х. – к.т.н., доцент кафедры СиЖКХ.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы  
«Повышение технико-экономической эффективности прокладки  
канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях (на  
примере Республики Тыва)» представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук, используются в учебном процессе по  
дисциплине «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО ТувГУ.

По результатам диссертационной работы получено свидетельство о  
государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614814  
«Математическое моделирование глубины заложения канализационного  
трубопровода в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов».

Председатель комиссии:

С.С. Саая

Члены комиссии:

Б.К. Кара-Сал

А.Х. Дадар

## Приложение Г – Акт о внедрении диссертационной работы

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**  
Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190000  
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-22  
E-mail: dou@pgups.ru, http://www.pgups.ru

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор по  
научной работе

\_\_\_\_\_

Петр Кириллович

08 2023

## АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы аспиранта кафедры  
«Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»  
ФГБОУ ВО Петербургского государственного университета путей  
сообщения Императора Александра I  
Майны Шончалай Борисовны

Комиссия в составе:

Председатель: Сацук Т.П. – д.э.н., профессор, начальник Учебного  
управления.

Члены комиссии:

Твардовская Н.В. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой  
«Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»;Черников Н.А. – д.т.н., профессор кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидравлика».

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы  
«Повышение технико-экономической эффективности прокладки  
канализационных трубопроводов в суровых климатических условиях (на  
примере Республики Тыва)» представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук, используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО  
ПГУПС по дисциплине «Проектирование сетей водоснабжения и  
водоотведения в сложных условиях» для направления подготовки 08.04.01.  
«Строительство» магистерской программе «Водоснабжение и водоотведение  
на предприятиях транспорта и в системах ЖКХ».

По результатам диссертационной работы получено свидетельство о  
государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614814  
«Математическое моделирование глубины заложения канализационного  
трубопровода в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов».

Председатель комиссии:

 Н.П. Сацук

Члены комиссии:

 Н.В. Твардовская

 Н.А. Черников

Приложение Д – Свидетельство о государственной регистрации программы  
для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020614814

Математическое моделирование глубины заложения  
канализационного трубопровода в условиях глубокого  
сезонного промерзания грунтов

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования "Тувинский  
государственный университет" (RU)*

Авторы: *Терехов Лев Дмитриевич (RU),  
Майны Шончалай Борисовна (RU)*



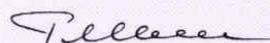
Заявка № 2020613892

Дата поступления 21 апреля 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 апреля 2020 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев