

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Омский государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи



КАДЦЫН Иван Ильич

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОТРАНСФОРМАТОРОВ**

Специальность 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Ведрученко Виктор Родионович

ОМСК 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	13
1.1 Предпосылки промышленного производства теплотрансформаторов	13
1.2 Анализ производства теплотрансформаторов на территории России	16
1.3 Обзор исследований теплового потока для использования низкопотенциальной энергии грунта для отопления, холодоснабжения, горячего водоснабжения зданий и сооружений	20
1.4 Обзор применения грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию для отопления, холодоснабжения, горячего водоснабжения зданий и сооружений	26
1.4.1 Виды грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию земли	30
1.4.2 Типы грунтовых зондов в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений	34
1.5 Предварительные выводы, постановка цели и задач исследования	36
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ГОРОДА ОМСКА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОНДОВ	37
2.1 Обоснование и номенклатура исследований физико-механических и теплофизических характеристик грунтов г. Омска	38
2.2 Формирование номенклатуры полевых работ	40
2.3 Результаты лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов	42
2.4 Результаты лабораторных исследований теплофизических свойств грунтов	53
2.5 Выводы по результатам теплофизических исследований	61
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ «НЕЙТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ГРУНТА» ОТ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ	62
3.1 Цель и обоснование исследований	62

3.2 Выбор оборудования, приборов и программного обеспечения	63
3.3 Результаты термометрических работ	70
3.4 Результаты исследований «нейтральной зоны грунта» от влияния солнечной радиации	73
4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОНДОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ТЕПЛОТРАНСФОРМАТОРА	77
4.1 Математическая модель определения эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора	77
4.2 Разработка методики определения расстояния между скважинами с грунтовыми теплообменниками в системе сбора низкопотенциальной энергии грунта	82
4.3 Расчет количества грунтовых зондов	87
4.4 Методика расчета вертикальных грунтовых зондов использующих низкопотенциальную энергию грунтового массива	88
4.5 Усовершенствование U-образных грунтовых зондов и программного обеспечения для улучшения технико-экономической эффективности работы теплотрансформатора	91
4.5.1 Симметричная проставка для U-образного грунтового зонда	91
4.5.2 Разработка программного обеспечения для ЭВМ	93
4.5.3 Геотермальное устройство для водоупорных грунтов,,,95	
5 ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОТРАНСФОРМАТОРА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНИСТVOВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ЗОНДОВ	97
5.1 Разработка рекомендации для проектирования систем теплоснабжения зданий и сооружений на базе теплотрансформаторов в сочетании с грунтовыми U-образными зондами	97
5.2 Техничко-экономический анализ применения теплотрансформатора с усовершенствованными U-образными грунтовыми зондами	99
5.3 Разработка методики выбора теплотрансформаторов	108

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	118
Приложение А Патент на изобретение №2739298 «Геотермальное устройство для водоупорных грунтов»	133
Приложение Б Патент на полезную модель №198052 «Симметричная проставка для U-образного грунтового зонда»	134
Приложение В Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611929 «Геотермальный регистратор»	135
Приложение Г Акт передачи научно-технической разработки от 25.06.2020	136
Приложение Д Акт передачи научно-технической разработки от 18.08.2020 ...	138
Приложение Е Свидетельствол о поверке №Н2413/2057-2020	140
Приложение Ж Сертификат соответствия №ТС RUC-RU.МГ07.В.00526	141
Приложение З Решение о подтверждении действия сертификата соответствия №ТС RUC-RU.МГ07.В.00526	145
Приложение И Заключение о состоянии измерений в лаборатории №056-ИЛ-19 от 16 декабря 2019 г.	146
Приложение К Приложение к аттестату аккредитации №ААС.А.00311	147
Приложение Л Результаты исследования физико-механических свойств исследуемых грунтов	156
Приложение М Исходные данные для выполнения подбора теплотрансформатора.....	161
Приложение Н Правила обмера поверхностей ограждающих конструкций	162

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время приоритетными направлениями развития энергетики в России являются энергосбережение и эффективное использование топливно-энергетических ресурсов, а также необходимостью улучшение эксплуатационных и технико-экономических характеристик геотермальных теплотрансформаторов в климатических условиях Сибири, снижения эксплуатационных затрат на отопление зданий и сооружений, уменьшения истощения природных ресурсов экосистем (природного капитала), обострение экологических проблем в крупных промышленно-урбанизированных городских территориях [89].

Теплотрансформаторы использующиеся в качестве источника тепловой энергии тепло грунта, относятся к наиболее перспективному тепловому оборудованию. Такие устройства активно внедряются на территории Европы в зонах с мягким климатом и непродолжительных отрицательных температурах.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-технических работ Омского государственного университета путей сообщения (тема НИР ГБ 246 «Повышение технико-экономических и экологических показателей источников тепловой энергии») в рамках приоритетного направления развития науки, технологий и техники РФ Пр–577 «Энергосберегающие технологии», критические технологии «Системы жизнеобеспечения и защиты человека», «Энергосбережение».

Курс повышения энергетической эффективности и энергосбережения Российской Федерации направлен на изучение и развитие возобновляемых источников энергии, что отражено в указе Президента РФ №899 от 07.07.2011 г. "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" [1], №623 от 16.12.2015 г. "О Национальном центре развития технологий и базовых элементов робототехники" [2], №642 от 01.12.2016 г. "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации"[111], которые выражаются в создании правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий и сооружений. На

21-ой конференции в Париже, проходившей в период с 30 ноября – 12 декабря 2015 года, которая была проведена в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата и 11-ой в рамках совещания сторон по Киотскому протоколу [108], обсуждались вопросы о необходимости развития возобновляемой энергетики в различных регионах мира.

Автономные объекты жилой, промышленной и железнодорожной инфраструктуры (посты дежурных по переезду, стрелочные посты, посты охраны, пункты обогрева стационарного или модульного типа и прочие здания и сооружения, входящие в структуру ОАО «РЖД») подключены только к электрическим сетям вследствие большого расстояния от населенных пунктов. Указанные объекты имеют высокие эксплуатационные затраты на системы отопления, горячего водоснабжения и электроснабжение [12].

Применение современных материалов и технологий, позволяет существенно снизить содержание (эксплуатацию), повысить энергетическую эффективность объектов капитального строительства. Внедрение существующей низкопотенциальной тепловой энергии грунта, воздуха, воды, хозяйственно-бытовых стоков, шахтных вод, промышленных сбросов и многого другого является одним из наиболее актуальных малоиспользуемых источников тепловой энергии, преобразование которой, позволяет без изменения (реконструкции) существующей инженерной инфраструктуры, отапливать новые промышленные, административные, жилые объекты, не используя дополнительные топливно-энергетические ресурсы.

Распространенными типами использования низкопотенциальной энергии земли являются технические решения с устройством геотермальных трансформаторов с вертикальными зондами, являющиеся энергосберегающими, экологическим, взрывобезопасными, а также наиболее экономически выгодными вариантами для теплоснабжения, холодоснабжения, горячего водоснабжения зданий и сооружений.

Теплотрансформаторы использующие в качестве источника тепловой энергии тепло грунта, относятся к наиболее перспективному тепловому оборудованию. Такие устройства активно внедряются на территории Европы в зонах с мягким климатом и непродолжительных отрицательных температурах. В связи с отсутствием

данных применительно массива грунтов Омской области по показателям объемной теплоёмкости, средней теплопроизводительности скважин, организации выполнения монтажа грунтовых зондов с шагом 4–6 м, используя опыт фирм, расчеты и эксплуатацию в европейской части Российской Федерации [59]. Отсутствие достоверных физических и теплофизических характеристик грунтов приводит к ошибочным расчетам при проектировании грунтовых зондов, что в процессе эксплуатации приводит к вымораживанию грунта между скважинами, низкой технико-экономической эффективности теплообменного оборудования и теплотрансформаторов в сравнении с заявляемыми характеристиками производителей.

Особенность данного диссертационного исследования заключается в определении физико-механических, теплофизических характеристик грунтов на примере г. Омска; во введении ранее отсутствующего понятия «нейтральная зона грунта» и определении его глубины; в разработке новых конструктивных решений, позволяющих эффективнее использовать грунтовые зонды; в создании методики проектирования каскада геотермальных зондов, учитывающих результаты полученных исследований.

Степень разработанности темы диссертации. Существенный вклад в решение теоретических проблем, экономической выгоды, вопросов экспериментального, математического моделирования грунтовых зондов для целей тепло-холодоснабжения зданий и сооружений внесли А. С. Штым, И. А. Журмилова, Д. И. Карабарин, С. Л. Елистратов, М. В. Кобылкин, В. А. Михельсон, Г. П. Васильев, В. М. Кротов, У. Томсон, Д. Холден, L. Rybach, J. Lund, B. Sanner, H. J. Zeng, J. D. Spitler, J. Hanova, H. Davlatabadi и др.

Однако в опубликованных материалах исследований недостаточное внимание уделено влиянию температурного режима и свойств грунтов (теплоемкости, влажности, типа грунтового массива), а также климатических условий на работу теплового оборудования, использующего низкопотенциальную энергию земли. Особенность данного диссертационного исследования заключается в определении физико-механических, теплофизических характеристик грунтов города Омска; во введении ранее отсутствующего понятия «нейтральная зона грунта» и определении

его глубины; в разработке новых конструктивных решений, позволяющих эффективнее использовать грунтовые зонды; в создании методики проектирования каскада геотермальных зондов, учитывающих результаты полученных исследований.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-технических работ Омского государственного университета путей сообщения (тема НИР ГБ 246 «Повышение технико-экономических и экологических показателей источников тепловой энергии») в рамках приоритетного направления развития науки, технологий и техники РФ Пр–577 «Энергосберегающие технологии», критические технологии «Системы жизнеобеспечения и защиты человека», «Энергосбережение».

Целью диссертационной работы – совершенствование грунтовых зондов для повышения энергоэффективности геотермальных теплотрансформаторов в климатических условиях Сибири.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

Выполнен анализ существующих методов проектирования геотермальных теплотрансформаторов и результатов исследования грунтов г. Омска; зафиксирована нейтральная зона грунта, формирующаяся под солнечной радиацией;

Обоснована математическая модель определения наилучшей глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, усовершенствованы методы расчеты количества грунтовых скважин и расстояния между ними;

Созданы и предложены новые конструктивные решения, в низкопотенциальном контуре земли, позволяющие повысить эксплуатационные показатели работы грунтовых теплотрансформаторов;

Представлено технико-экономическое обоснование применения теплотрансформатора с усовершенствованными U-образными грунтовыми зондами.

Объекты исследования – грунтовые зонды геотермальных теплотрансформаторов.

Предметом исследования являются эксплуатационные и технико-экономические характеристики геотермальных теплотрансформаторов.

Методы исследования. В основу работы положены теоретические и

экспериментальные исследования. Изыскания выполнены при помощи аналитических, лабораторных, натурных исследований грунтового массива г. Омска и обработки экспериментальных данных с применением сертифицированного оборудования, компьютерных программ (Microsoft Office 2010, NanoCAD СПДС 5.0, Arduino) и электронно-картографических справочников (Яндекс.Карта).

Теоретическая значимость. обусловлена предложенными моделями и методами, которые могут послужить основой для разработки инженерных методик проектирования геотермальных зондов различных конструкций.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

Установлены физико-механические и теплофизические характеристики грунтов г. Омска, зафиксирована нейтральная зона грунта, формирующаяся под воздействием солнечной радиации;

Обоснована математическая модель эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, отличающаяся от известных возможностью учета зависимости температуры рабочей жидкости от заглубления зонда;

Улучшена методика определения количества скважин и расстояния между ними. Усовершенствована номограмма расстояния между геотермальными зондами с учетом полученных экспериментальных данных.

Достоверность научных положений и результатов исследования достигается корректным применением математического аппарата теории эксперимента и математической статистики также подтверждается результатами измерений аттестованных лабораторий, применением сертифицированного измерительного оборудования и аппаратуры, фактическими показаниями измерительных приборов учета электрической и тепловой энергии.

Практическая ценность диссертации заключается в возможности фактического применения разработанной методики определения расстояния между геотермальными скважинами, усовершенствовании номограммы определения расстояния между грунтовыми зондами, разработке программного продукта «Геотермальный регистратор», позволяющего выполнять мониторинг грунтовых скважин и поставке, делающей возможным фиксировать положение труб теплообменного

элемента грунтового теплообменника, увеличивающей технико-экономические характеристики грунтового зонда.

Практическая значимость работы.

1. Произведены теоретические и экспериментальные исследования грунтового массива, установлена нейтральная зона грунта на территории г. Омска, позволяющие использовать, ранее отсутствующие данные, для проектирования геотермальных зондов;

2. Разработаны и предложены новые конструктивные решения (полезная модель № 198052), свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020611929 от 12.02.2020, патент № 2529850), в низкопотенциальном контуре земли, которые позволят повысить эксплуатационные показатели работы грунтовых теплотрансформаторов, а также выполнять мониторинг (анализ) работы температурного режима и промышленного оборудования;

3. Выполнен технико-экономический расчет применения теплотрансформатора с усовершенствованными U-образными грунтовыми зондами, по результатам которого установлено фактическое уменьшение на 31 % расхода электроэнергии (в сравнении с аналогичным тепловым оборудованием).

Методология и методы исследования. В основу работы положены теоретические и экспериментальные исследования. Изыскания выполнены при помощи аналитических, лабораторных, натурных исследований грунтового массива г. Омска и обработки экспериментальных данных с применением сертифицированного оборудования, компьютерных программ (Microsoft Office 2010, NanoCAD СПДС 5.0, Arduino) и электронно-картографических справочников (Яндекс.Карта).

Основные положения выносимые на защиту.

Установлены физико-механические и теплофизические характеристики грунтов г. Омска, зафиксирована нейтральная зона грунта, формирующаяся под воздействием солнечной радиации;

Обоснована математическая модель эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, отличающаяся от известных возможностью учета зависимости температуры рабочей жидкости от заглубления зонда;

Улучшена методика определения количества скважин и расстояния между ними. Усовершенствована номограмма расстояния между геотермальными зонами с учетом полученных экспериментальных данных.

Личный вклад автора состоит в определении цели и задач исследования, разработке математической модели эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, проведении экспериментальных работ, формулировании положений, вынесенных на защиту. Постановка задач и анализ результатов обсуждались совместно с научным руководителем. В совместных публикациях вклад автора составляет от 50 до 85 %.

Разработана новая конструкция – «Симметричная проставка для U-образного грунтового зонда», позволяющая фиксировать положение труб теплообменного элемента грунтового теплообменника, увеличивая технико-экономические характеристики грунтового зонда [3];

Создана программа для ЭВМ «Геотермальный регистратор», предназначенная для годового (двухгодового) мониторинга температуры грунта разведочной скважины, в режиме реального времени, а также автоматической записи (каждые 360 минут) зарегистрированных фактических показаний термальных датчиков на карту памяти [4];

Исполнено изобретение (патент № 2739298 «Геотермальное устройство для водоупорных грунтов»), технический результат которого выражается в повышении теплопроизводительности грунтового зонда за счет исключения принудительного увлажнения наполнителя насосным оборудованием в центральной части геотермальной скважины, увлажняя наполнитель геотермального зонда, грунтовыми и осадочными водами, без применения дополнительного оборудования [110].

Произведено 2 акта внедрения научно-технической разработки ПО для ЭВМ «Геотермальный регистратор» (ФГУП «ФНПЦ «Прогресс», АО «ОГРЭ») [приложение 4, 5].

Степень достоверности научных положений и результатов достигается корректным применением математического аппарата теории эксперимента и математической статистики и подтверждается результатами измерений аттестованных

лабораторий, применением сертифицированного измерительного оборудования и аппаратуры, фактическими показаниями измерительных приборов учета электрической и тепловой энергии.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Повышение энергоэффективности объектов и систем теплоснабжения» (Омск, 2019), всероссийской конференции с международным участием «Актуальные вопросы энергетики» (Омск, 2019), международной научной конференции «Научные исследования стран ШОС: синергия и интеграция» (Пекин, 2019), научной конференции «Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте» (Омск, 2020), XXVI всероссийской научно-практической конференции «Научно-исследовательские решения современной России в условиях кризиса» (Ростов-на-Дону, 2020), научном семинаре кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС (Омск, 2018, 2019, 2020, 2021).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 14 печатных работ, в том числе три статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, одна статья – в зарубежном издании, индексируемом в международной реферативной базе данных Scopus, один патент РФ на изобретение, один патент РФ на полезную модель и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, семь научных работ, опубликованные в прочих изданиях.

Структура и объем работы. Материалы диссертации изложены на 162 страницах основного текста, включающего в себя 53 рисунка и 17 таблиц. Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 112 наименований и 13-ти приложений.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Предпосылки промышленного производства теплотрансформаторов

Теплотрансформатор (тепловой насос) – устройство, преобразующее низкопотенциальную тепловую энергию окружающей среды в высокопотенциальное тепло с последующей передачей его в тепловой контур или контур циркуляции горячего водоснабжения [6].

Теория тепловых машин возникла в первой половине 19 века, а толчком к её созданию послужило развитие теплотехники, в частности изобретение паровой машины в конце 18 века. К середине 19 столетия относятся первые удачные попытки создания холодильных машин.

В 1852 физик Уильям Томсон предложил первую модель теплового насоса, назвав ее «умножителем теплоты» (heat multiplier) [54].

Принцип работы умножителя теплоты, созданного Томсоном, был следующий: во входной цилиндр поступает воздух с улицы, там он расширяется, в результате происходит его охлаждение. Далее воздух поступает в ресивер, где осуществляется его нагрев от наружного воздуха. Затем он поступал в выходной цилиндр, сжимался и ощутимо нагревался. В нагретом состоянии воздух поступал в помещение, тем самым обогревая его. Принцип работы такого механизма был основан на изменении температуры газов при их расширении и сжатии (эффект Джоуля–Томсона) [7].

Используя идею Томсона, австрийский инженер Петер Риттер фон Риттингер смог ее развить и усовершенствовать. После ряда экспериментов в 1856 году, он создал самый первый тепловой насос, выпаривающий рассол в соляных шахтах.

Именно изобретение Риттингера стимулировало работу установки таких насосов в шахтах соседа – Швейцарии. Установка по выпариванию соли была создана позже швейцарцами – Дж. Вейбелем и П. Пикаром, и впервые ее установили в 1876 году. Эта машина была более производительна, нежели машина, созданная Риттером. Позже такие машины стали устанавливать во Франции и Германии. Еще позже швейцарец Генрих Зоэлли предложил использовать грунт слоев земли как

низкопотенциальный источник теплоты. В 1912 году он получил патент на свое изобретение.

Во многом новые инженерные решения были предложены благодаря дефициту топлива, в период Первой мировой войны. После 1918 года начали проводить исследования использования тепловых насосов с целью обогрева зданий, и в результате проекты домов с отоплением на базе таких установок были реализованы.

Первую теплонасосную установку для отопления своего дома построил в 1927 году в Шотландии английский инженер Д. Холдейн. В качестве теплотрансформатора была использована холодильная машина с электроприводом в 5 кВт. В установке имелось два испарителя. Один испаритель был установлен вне помещения для использования тепла наружного воздуха, а другой был погружен в бак с проточной водой, установленный внутри помещения.

Первая крупная теплонасосная установка в Европе была введена в действие в Цюрихе в 1938-1939 гг. В ней использовались тепловая энергия речной воды, ротационный компрессор и хладагент.

Такая установка обеспечивала отопление здания ратуши водой с температурой 60 °С при мощности 175 кВт. Имелась система аккумулирования тепла с электронагревателем для покрытия пиковой нагрузки. В летние месяцы установка работала на охлаждение.

В период с 1939 по 1945 годы было создано еще около десяти подобных установок с целью сокращения потребления угля в Швейцарии. Некоторые из них успешно проработали более 30 лет.

В конце 40-х годов в США было установлено, что коммерческий успех будет выше, если производить «агрегированные» установки, полностью собранные на заводе-изготовителе и встроенные в дома, и с 1952 г. такие тепловые насосы стали поступать на рынок в большом количестве.

В настоящее время, общее число работающих теплотрансформаторов в США превышает 30 млн. ед., а ежегодный выпуск, в настоящее время, составляет ориентировочно более 1 млн. ед. Этому способствовал ряд факторов: большая часть территории США имеет низкоплотную индивидуальную застройку в условиях

сравнительно теплого климата, поэтому низкотемпературные системы отопления небольшой мощности на базе теплотрансформатора нашли широкое распространение, в отличие от централизованных систем теплоснабжения, и имеющиеся ограничения теплового насоса по нагреву теплоносителя на уровне 50–60 °С в таком климате не стали препятствием.

Первые научные работы по тепловым насосам в СССР можно отнести к 1920 году (В. А. Михельсон). В 30–е годы исследованиями тепловых насосов начали заниматься в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского, во Всесоюзном теплотехническом институте им. Ф. Э. Дзержинского, в Центральном котлотурбинном институте им. И. И. Ползунова и других организациях. К сожалению, все эти работы не находили практического применения и имели в основном обзорный и расчётно-теоретический характер.

В нашей стране широкомасштабное развитие теплотрансформаторов было в 50–60 годы. Это были времена развития советского машиностроения, холодильной техники и строительства мощных гидроэлектростанций.

Для теплоснабжения были предложены конкретные проекты применения теплотрансформаторов, использующих разные источники теплоты.

В 1952 г. проводилось Всесоюзное совещание по вопросу применения теплотрансформаторов в народном хозяйстве СССР. Была дана положительная оценка работе, выполненной в ряде центров Советского Союза в области тепловых насосов, и принят ряд рекомендаций по уточнению дальнейшей направленности теоретических и практических работ в данной области. В связи с дешевизной углеводородного топлива теплотрансформаторы были признаны нерентабельными. Однако в то же время работы по их исследованию в стране продолжались. В конце 50–х годов в г. Волжском была разработана и сооружена теплонасосная система отопления и круглогодичного кондиционирования воздуха в кинотеатре «Спутник». Установка состояла из трех одинаковых теплонасосных агрегатов, один из которых работал на водяную и два – на воздушную системы отопления.

Первая опытно промышленная теплотрансформаторная установка была сооружена на Губской чайной фабрике в 1967 г. для теплоснабжения чаезавялочного

агрегата и технологического кондиционирования воздуха роллерно–ферментационного цеха.

В ВНИИХолодмаш в 1986–89 гг. был разработан ряд парокомпрессионных тепловых насосов тепловой мощностью от 17 кВт до 11,5 МВт десяти типоразмеров «вода–вода», двух типоразмеров «вода-воздух».

С 1987 по 1992 годы наиболее востребованные теплотрансформаторы 4–х типоразмеров: ТХУ14, НТ100, НТ300, НТ8500 были выпущены общей тепловой мощностью 40 МВт. Два наиболее крупных теплотрансформатора НТ8500 были установлены на Светогорском целлюлозно–бумажном комбинате (г. Светогорск, Ленинградская обл.) общей тепловой мощностью 17 МВт. Они работали в замкнутом контуре охлаждения технологической воды, отводящей теплоту технологических процессов, за счет ее утилизации.

После распада СССР и спада производства почти все освоенные тепловые насосы оказались невостребованным и, а еще позже оказались физически и морально устаревшими (в большинстве из них в качестве хладагента применялся ныне запрещенный фреон R12).

Распад СССР существенно повлиял на массовый спад производства почти всех типов тепловых насосов, привел к не востребованности, физическому и моральному устареванию имеющихся технологии и разработанного оборудования [8].

1.2 Анализ производства теплотрансформаторов на территории России

После существенного снижения, а в дальнейшем ликвидации производства тепловых насосов, после распада СССР, производство первых образцов теплотрансформаторов, началось в 1995 году и только с 2010 года начался заметных рост отечественных производителей.

Анализ деятельности компании, выпускающих тепловые насосы российского производства, показывает, что доля отечественных комплектующих в рассматриваемых изделиях составляет в среднем от 5 до 15%, локально 40-60%. Проведенное исследование показывает наличие высокого процента импортных комплектующих.

Анализ функционирования компаний выпускающих теплотрансформаторы Российского производства, представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Компании выпускающих теплотрансформаторы российского производства

№	Изготовитель, контактные данные	Год начала произ- водства ТН	Тепловая мощность выпускае- мых ТН	Наличие ПО уда- ленного управле- ния	% комплек- тующих Российского производ- ства
1	Бренд «SagaTherm» ИП Сагалович Александр Анатольевич +7(926)-843-6394 +7(495)544-75-79 Московская область, г. Железнодорожный, ул. Октябрьская, 8 E-mail: geoteploo@gmail.com; http://www.sagatherm.ru	2008	от 6 до 30 кВт	да	5% - корпуса, контроллеры Digimark
2	Бренд «Henk» ИП Савостьянов Игорь Юрьевич +7(495)-798-95-35; Московская область, г. Железнодорожный, ул. 5 Свободы, 2А, E-mail: netgbaza@yandex.ru; http://www.netgaza.ru	2005	6 до 120 кВт	да	5%
3	Бренд «Корса» ООО «КОРСА» Ген. директор Москаленко Игорь Валентинович +7(968)832-36-29; +7(499)249-12-38 г. Голицыно, ул. Петровское шоссе 33, Производственно-складской комплекс ПромБизнесБанк; E-mail: corsainfo@yandex.ru; https://www.corsaltd.ru	2002	От 5 до 69 кВт	да	60% - РФ 40% - им- портные ком- плектующие, европейского происхожде- ния: компрес- соры, тепло- обменники, автоматика

4	Бренд «Уральский Завод Тепловых Насосов», ООО "ПП УЗТН" Директор Венгин Юрий Сергеевич +79126908622; +7(343)378-61-77; г. Екатеринбург, пр. Космонавтов, 73, офис 30; E-mail: org@uztn.ru; http://uztn.ru	2010	6 кВт до 500 кВт	да	60%.
5	Бренд «НМ», ООО «Хитинг Мастер», Генеральный директор Кудрявцева Дарья Евгеньевна +7 (911) 291- 0410; Ленинградская область, Волосовский район, пос. Жилгородок, 42; E-mail:info@refkomspb.ru; http://www.refkomspb.ru	2008	От 4 кВт до 1 мВт	да	35-40%
6	Бренд «BROSK» ООО "БРОСК" Ковалев Олег Алексеевич +7(953)460-2882; +7(499)704-13-98; Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе 59; E-mail: sales@brosk.ru https://brosk.ru	1995	От 5 кВт до 1 мВт	да	5%
7	Бренд «EnergyLEX» Демов Станислав Александрович +7(905)500-7899 Московская область, Раменский городской округ, д. Редькино, ул. Новая д, 21. E-mail: energylex@bk.ru; https://www.energylex.ru	2010	От 7 кВт до 25 кВт	да	5%

8	Бренд «Есо» ООО «Экоклимат» Директор Гранин Георгий Викторович +7 (3822) 43-00-12; +7 913-858-8863 г. Томск, ул. Герцена, 45, оф. 211, 213; E-mail: info@ecoklimat.com; http://ecoklimat.com	2007	От 10 кВт до 100 кВт	да	85%
9	Бренд «OVANTER» ИП Штомполь Сергей Юрьевич +7 (495) 409-49-89; +7 963-750-6161 г. Москва, ул. Кольская, 1, стр.2 E-mail: info@ovanter.ru; https://ovanter.ru	2013	От 10 кВт до 190 кВт	да	5%
10	Бренд «LIANTechnology» Ген. директор ООО "УМГРАД-СЕРВИС" Цымбал Алексей Юрьевич +7 (383) 284-30-10 г. Новосибирск, ул. Русская, 42Б E-mail: info@lian-tech.ru http://ecomer-umgrad.ru	1999	От 4 кВт до 12 кВт	да	5%

Рост производства тепловых насосов отечественных производителей вызван повышением спроса на покупаемое оборудование, повышением курса валюты, сложностью подключения локальных объектов, высокой стоимостью (отсутствие возможности) подключения к существующим инженерным сетям, а также стоимостью изготовления изделий.

Стоимость подключения к существующим инженерным сетям остается высока, требует много времени на получение технических условий, разработку, согласования проектной документации, выполнения строительно–монтажных работ, ввода в эксплуатацию. Установка грунтового теплового насоса обходится существенно дешевле и короткий срок, что по итогам реализации объектов

капитального строительства влияет на снижение срока окупаемости проекта.

Компании–производители из Российской Федерации за последние годы получили опыт производства оборудования и расширяли модельный ряд изделий. Одним из последних достижений являются отечественные программные продукты, разработанные и внедренные в теплотрансформаторы, позволяющие удаленно контролировать работу теплового оборудования.

Большинство компаний, по причине отсутствия сборочных цехов, производственных площадей закупают китайское, европейское оборудование, сертифицируют его как собственное и продают под видом российского.

Основа теплотрансформатора – компрессор. Он обеспечивает бесперебойную работу, эффективность и производительность. Все компрессоры в отечественных компаниях являются импортными. Установка компрессора, известного производителя, является существенным фактором, влияющим на долговечность работы оборудования, так как трансформатор имеет высокую стоимость в общей стоимости работ.

Выполненный анализ показал, что:

1) Процент выпускаемых комплектующих отечественного производства, требуемых для изготовления теплотрансформаторов, в большинстве составляет 5%, локальных предприятий не более 85%;

2) Существует высокий потенциал импортозамещения оборудования и комплектующих необходимых для изготовления теплотрансформаторов не выпускаемых на территории Российской Федерации.

1.3 Обзор исследований теплового потока для использования низкопотенциальной энергии грунта для отопления, холодоснабжения, горячего водоснабжения зданий и сооружений

Тепловой поток является основной интегральной характеристикой теплового состояния земных недр, индикатором геодинамической активности литосферы в кайнозойскую эру – окончательного формирования верхних осадочных пород

земли [101]. Зная его распределение, можно районировать литосферу по уровню энергетического состояния, оценивать глубинные температуры и мощность термической литосферы геотермическим методом, который основан на решении уравнений теплопроводности для реальных моделей литосферы можно найти в работах А.Д. Дучков, С.В. Лысак, В.Т. Балобаев [13].

Изучения теплового потока в Сибири началось в 1950–1960-х гг., когда в ряде институтов Сибирское отделение Академии наук СССР (институт геологии и геофизики, институт земной коры, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова), в Западно-Сибирском отделении Всесоюзного научно-исследовательского института геофизических методов разведки были организованы геотермические лаборатории или группы. На этом этапе основное внимание было обращено на развитие техники и методики геотермических исследований. В последующие 20–30 лет на территории Сибири были выполнены значительные объемы измерений теплового потока. Параллельно эти данные использовались для оценки глубинных температур.

Активное изучение теплового потока Сибири продолжалось до конца 1980-х гг. В последующие годы резко сократился объем бурения скважин, они стали менее доступными. Соответственно резко уменьшился объем полевых геотермических работ. В этих условиях возрос интерес к обобщению полученной ранее экспериментальной геотермической информации.

Обобщение данных о тепловом потоке Сибири было начато с публикации каталога и коллективной монографии А.Д. Дучкова [14]. Одновременно сибирский материал авторов Я.Б. Смирнова, Р.И. Кутас, Ю.К. Щукина [15], В.В. Гордиенко, У.И. Моисеенко [16] были использованы в серии карт теплового потока территории СССР и всей Северной Евразии. В дальнейшем на основе собранной информации был построен электронный «Геотермический атлас Сибири (1995–2000)», включающий карты, на которых изолиниями и цветом показаны изменения теплового потока и температуры на глубинах 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 и 5.0 км [17]. Атлас выполнен в компьютерной форме в среде геоинформационной системы ARC/INFO, которая позволяет визуализировать информацию на дисплее компьютера и осуществлять печатание многоцветных карт. Атлас был задуман и выполнен как продолжение на

восток ранее опубликованного «Geothermal Atlas of Europe» [18]. Тепловой поток Сибири описан в серии монографий Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. [20]; Лысак С.В. [21], Балобаев В.Т [22], Голубев В.А. [23].

В 2009–2012 гг. было предпринято новое обобщение геотермических материалов уже по всей азиатской части Российской Федерации, включая окраинные моря [19]. В работе приняли участие специалисты из Дальневосточного отделения РАН (институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина, институт морской геологии и геофизики). Современная база геотермических данных включает 4300 значений теплового потока, 2300 значений температуры на глубинах от 0,5 до 5 км, а также сведения о глубине залегания нижней границы криолитозоны.

Криолитозона – верхняя часть земной коры с отрицательной температурой почв, отложений, горных пород, с наличием или возможностью существования подземных льдов; часть криосферы Земли [102]. Информационно-технологическая основа нового атласа отработана сотрудниками лаборатории геоинформационных технологий института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, и базируется на картографическом сервисе этого института. Для отображения информации созданы соответствующие стили оформления картографического представления: каждому параметру (тепловому потоку, температуре на пяти глубинах и глубине расположения нижней границы мерзлоты) соответствует слой. Каждый слой характеризует количество и расположение фактического материала, а также отражает (цветом) изменения в значениях параметра. Принцип управления электронными картами полностью идентичен управлению системой GoogleEarth. Есть возможность масштабирования, включения-выключения слоев и получения атрибутивной информации по пунктам измерений (щелчок мышью по объекту). В атрибутивной информации к точкам пунктов содержатся все данные о геотермических параметрах из основного каталога. Имеется специальный редактор для визуального добавления архивных данных к картографическим объектам. В настоящее время «Геотермический атлас Сибири Дальнего Востока (2009–2012)». 17.03.2015 г. получено свидетельство о государственной регистрации базы данных №2015620488–Геотермический атлас Сибири и

Дальнего Востока (2009-2012) [24]. Разработанный программный продукт позволяет получить информацию по отдельному тематическому слою, которые характеризуются фактическими материалами теплового поля земли, из разведочных скважин, с цветовым отражением при изменении глубины (от 0,5 км).

Среди исследований, посвященных оценке эффективности и возможности внедрения систем, использующих низкопотенциальную теплоту грунта для целей теплоснабжения зданий и сооружений на территории России, можно найти в работах Г.П. Васильева [25], Н.В. Шилкина [26], В.Я. Федянина [27], В.А. Бутузова [28], С.Л. Елистратов [104].

Так Г.П. Васильев в своей работе, изучил применимость таких систем на всей территории Российской Федерации, представил математические модели, на базе аналитического метода – конечных интегральных преобразований, и на их основе реализовал компьютерную модель, которая описывает нестационарный пространственный тепловой режим грунтового массива систем теплосбора с поверхностных слоев Земли. При моделировании процессов тепломассопереноса автором были сделаны следующие допущения: грунтовый массив рассматривается как квазигомогенное тело, регистр труб грунтового теплообменника аппроксимируется линейным стоком тепла. И только при исследовании теплообмена между стенкой трубы грунтового теплообменника и теплоносителя системы теплосбора была рассмотрена конструкция коаксиального типа. Исследования Г.П. Васильева охватывают большое количество имеющихся знаний в области сбора низкопотенциальной энергии грунта. Выполненное районирование территории Российской Федерации на предмет использования низкопотенциальной энергии земли, подтверждает высокую актуальность без изменения (реконструкции) существующей инженерной инфраструктуры отапливать здания и сооружения, не используя дополнительные топливно–энергетические ресурсы.

Совершенствование систем извлечения низкопотенциальной энергии грунта, промышленных объектах и методик для их расчета, а также построение математических моделей встречается в работах Е.А. Ададунова [29], К.Н. Сотниковой [30], А.А. Гришкова [31], В.М. Кротова [32], И.А. Журмилова [105], Д.И. Карабарин

[106], М.В. Кобылкин [107].

В.М. Кротов используя численный метод решения – метод конечных разностей, разработал математическую модель первичного контура системы теплоснабжения, которая состоит из грунтовых теплообменников коаксиального типа, погруженных в скважины. Разработанная математическая модель учитывает взаимное влияние теплообменников, распространение теплового потока в горизонтальной и вертикальной плоскостях, позволяет задавать климатические условия различных регионов. И.А. Журмилова в своей работе представила целесообразность использования 30%-35% водно-песчаного раствора в качестве альтернативного наполнителя для скважин с грунтовыми теплообменниками, а также на основании созданной физико-математической модели, описывающей процесс теплопередачи вертикальной системы сбора низкопотенциальной энергии грунта, создала методику расчета грунтовых теплообменников U-образного типа для целей тепло- и холодоснабжения зданий.

В материалах зарубежных авторов, J. Lund, B. Sanner, R. Curtis [33], L. Rybach [34], R. Bloomquist [35], G. Hellstrom [36], J. Eugster [37, 38], Y. Cenk [39], встречаются практические реализации использования грунтовых теплообменников для теплоснабжения зданий, больше всего используется конструкция – скважина с U-образными грунтовыми зондами (одиночным, сдвоенным). Мировое лидерство по использованию систем сбора низкопотенциальной энергии грунта сохраняют Швеция, Германия, Швейцария, Австрия, Соединенные Штаты Америки и Канада. L. Rybach [34] в своей работе приводит рекомендации для эффективной работы грунтовых теплообменников, на основании практического исследования, благодаря которому установлен ряд факторов, влияющих на результативность работы данных устройств: относительно высокая теплопроводность скважины, а также способность обеспечивать хороший тепловой контакт между теплообменником и окружающим массивом грунта, правильно рассчитанная глубина и количество скважин, свойства окружающего грунта, наличие грунтов вод. Также автор дает оценку изменения энергетического потенциала грунта, при работе коаксиального грунтового теплообменника в режиме отопления, и скорости его восстановления, на основе

полученных значений температур массива грунта вокруг труб грунтового теплообменника на протяжении 12 лет эксплуатации.

Данные работы подтверждают возможность применения геотермальных теплотрансформаторов с грунтовыми теплообменниками для целей тепло-холодоснабжения зданий и сооружений, и показывают эффективность таких систем.

Кроме того, в исследованиях выше указанных авторов и T. Kurevija, D. Vulin, V. Krapec [40], H.J. Zeng, N.R. Diao, Z.H. Fang [41], J.D. Spitler, J.R. Cullin, E. Lee, D.E. Fisher [42], Saqib Javed [43], C. Yavuzturk [39], C. Corradi, L. Schiavi, S. Rainieri, G. Pagliarini [44], отмечаются разработки математических моделей грунтовых теплообменников.

H.J.Zeng, N.R. Diao, Z.H. Fang [41] для создания математической модели работы U-образного грунтового теплообменника, воспользовались некоторыми допущениями: рассмотрели грунт как однородную бесконечную среду с постоянными теплофизическими свойствами и равномерным распределением температур. Сам грунтовый зонд представили, как линейный источник конечной длины в бесконечной среде, при этом, радиальными размерами скважины пренебрегли.

Saqib Javed [43] в своей работе использовал другой подход при моделировании работы скважин грунтовых теплообменников. Он использовал технику преобразования координат и решал одномерную задачу теплопереноса. Кроме того, допустил вывод, что, если рассмотреть грунтовый теплообменник, как источник конечной длины, то можно получить более точные данные.

J.D. Spitler, J.R. Cullin, E. Lee, D.E. Fisher [42] исследовали работу U-образных грунтовых теплообменников на базе созданных для расчета программ EnergyPlus, eQuest, HVACSIM+, TRNSYS, и EES. Результаты программных продуктов, выдавали разнящиеся между собой данные, следовательно, существуют неточности, устранение которых требуют дополнительных изыскательских исследований.

Оценку экономической выгоды от применения грунтовых зондов в качестве экологически чистого источника тепло-холодоснабжения зданий и сооружений можно найти в работах J. Hanova, H. Davlatabadi [45], L. Rybach [34]. Авторы дали разностороннюю оценку преимуществ использования системы геотермальных

тепловых насосов с грунтовыми теплообменниками. Отмечены экологические преимущества данной технологии в сравнении с традиционными системами теплоснабжения, высокая удовлетворенность потребителей от использования геотермальных тепловых насосов, окупаемость этих систем, возможность применения скважин грунтовых теплообменников не только для теплоснабжения зданий, но и для холодоснабжения.

Основным различием между исследованиями российских и зарубежных авторов является наличие у иностранных изыскателей большого опыта практической реализации систем извлечения низкопотенциальной теплоты грунта для целей тепло–холодоснабжения зданий и сооружений, в следствии массового применения теплотрансформаторов.

Анализируя, проведенные исследования в области использования низкопотенциальной тепловой энергии массива грунта в геотермальных теплонасосных системах тепло–холодоснабжения зданий и сооружений, можно сделать следующие выводы:

- в настоящее время достоверные данные о тепловом потоке, теплофизических характеристиках, верхнего слоя грунтового массива земли существуют локально (в местах научного исследования скважин);
- отсутствие исследований подтвердили наличие высокой погрешности в выполняемых проектных, монтажных работах, при устройстве грунтовых зондов (теплообменников), тем самым указывают на необходимость в проведении дополнительных изыскательских работ и актуальность изучения теплофизических характеристик грунтового массива.

1.4 Обзор применения грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию для отопления, холодоснабжения, горячего водоснабжения зданий и сооружений

Пропорционально росту тарифов на услуги ЖКХ в России растет количество граждан желающих заниматься энергосбережением.

На основании данных Минэнерго Омской области, по итогам 2020 г. уровень

газификации в регионе составил 36,17%. Причина низкой газификации территории привела к высокому распространению мини-котельных, которые работают практически на любых видах топлива, от твердых до жидких.

Котельные являются опасными производственными объектами, требующими соблюдение требований безопасности, контроля и иных мероприятий необходимых для безопасной эксплуатации объекта.

По ранее выполненному экономическому анализу сравнения использования различных видов отопления (без газового оборудования) [68], наиболее экономически выгодным источником выработки тепловой энергии является использование теплотрансформаторов.

Теплотрансформаторы на сегодняшний день представляют собой бурно развивающийся часть мирового рынка теплового оборудования. Одной из основных причин быстрого развития является безопасное эксплуатация, отсутствие процессов горения, высокая энергоэффективность теплоэнергетических установок, которые с каждым годом технологически совершенствуются и улучшаются по автоматизации процесса работы, исключая наличия постоянных рабочих мест. Количество установленных тепловых насосов в Европе приближается к 10 миллионам. В России, по самым смелым оценкам, речь идет о тысячах единиц оборудования, хотя рынок насыщен различными системами европейских, американских, китайских, российских производителей.

Основными факторами, сдерживающими рост рынка теплотрансформаторов, являются:

- 1) Процент выпускаемых комплектующих отечественного производства требуемых для изготовления теплотрансформаторов составляет в среднем 5%, локально не более 85% (по данным раздела 1.2);

- 2) Высокий процент отечественных производственных предприятий выпускающих оборудование из импортных комплектующих – 70-95% (отечественными являются – корпуса, контроллеры);

3) Отсутствие производства на территории Российской Федерации компрессоров, являющихся одним из основных высокотехнологических, дорогостоящих комплектующих, при производстве теплотрансформаторов;

4) Отсутствие государственных субсидируемых и иных программ, способствующих увеличению внедрения оборудования;

5) Малая информированность потенциальных потребителей, способствующая недоверием к данным системам отопления и кондиционирования.

Критерием, определяющим эффективность использования теплотрансформаторов, является коэффициент преобразования, который определяется как отношение теплопроизводительности сжатого компрессором пара к мощности, потребляемой компрессором.

$$\text{COP} = \frac{Q_R}{N}, \quad (4.1)$$

где Q_R – энергия, отдаваемая потребителю (теплопроизводительность), кВт;

N – затраченная электроэнергия, мощность компрессора, кВт.

Теплотрансформатор по экономической составляющей является альтернативой наиболее распространенному газовому котлу. Устройство, по размерам размещения в равной степени схоже с газовым оборудованием, работает по принципу переноса, повышения температуры нагретого теплоносителя до нужного уровня температуры воздуха используя электроэнергию. Коэффициент преобразования лучших моделей теплотрансформаторов составляет порядка 4,5–5, таким образом устройство позволяет получать 4,5–5 кВт тепловой энергии по цене 1 кВт электроэнергии [5]. При сравнении уровня цен, сопоставимых результатов (количестве выработанной тепловой энергии) стоимость эксплуатационных затрат на работу теплотрансформатора аналогично эксплуатационным затратам на работу газового котла.

Преимущества эксплуатации теплотрансформатора в сравнении с газовой котельной:

- 1) отсутствие необходимости получения каких бы то ни было разрешений, лимитов, технических условий;
- 2) отсутствие горючих процессов;
- 3) отсутствие необходимости содержания специалиста по эксплуатации;
- 4) безопасность;
- 5) экономичность (эксплуатационные затраты при использовании теплотрансформаторов и газовых котельных примерно равны, но при этом они значительно меньше, в сравнении с иными источниками отопления);
- 6) малая площадь размещения оборудования;
- 7) высокая автоматизация эксплуатации;
- 8) отсутствие повышенных (жестких) требований к месту размещения оборудования;
- 9) отсутствие дымоходов.

К недостаткам эксплуатации теплотрансформатора относятся:

- 1) высокая стоимость оборудования;
- 2) необходимость подключения оборудования по 2 категории электроснабжения [69].

В качестве низкотемпературных источников тепла могут использоваться [5]:

а) повторные (побочные) энергетические ресурсы:

- тепло вентиляционных выбросов;
- тепло канализационных стоков;
- сбрасываемая теплота технологических процессов (пар, вода) и прочее.

б) нетрадиционные возобновляемые источники энергии:

- тепло окружающего воздуха;
- тепло грунтовых и геотермальных вод;
- теплота водоемов и природных водных потоков;
- теплота солнечной энергии и т.п.;
- теплота поверхностных и более глубоких слоев грунта.

Теплотрансформатор увеличивает температуру нагретого теплоносителя до необходимого комфортного уровня температуры – 35-60 °С. Существенным

преимуществом применения геотермальной энергии является возможность использования системы в качестве отопления, а также в системе кондиционирования помещений всех типов зданий.

Необходимая длина скважины, рассчитывается по основным критериям:

- площадь объекта капитального строительства;
- площадь ограждающих конструкций;
- класс энергоэффективности объекта капитального строительства (при новом строительстве, реконструкции, капитальном ремонте);
- температура низкопотенциального источника (грунта, грунтовых вод);
- климатический район объекта капитального строительства;
- наличие межпластовых вод;
- наличие термального источника.

1.4.1 Виды грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию земли

При реализации проектов с применением геотермального отопления, преимущественное распространение получили:

1. Горизонтальные грунтовые коллекторы.



Рисунок 1.1 – Общий вид горизонтального грунтового коллектора

Настоящее техническое решение применяется в европейской части России, где глубина промерзания грунта является минимальной. Конструктивное решение является наиболее дешевым и наиболее быстрым способом выполнения строительно–монтажных работ, но требует большой площади земельного участка. При выполнении устройства теплообменника проектной организации необходимо учитывать глубину укладки труб, использовать обратную засыпку не пористым материалом в соответствии с п.7.26 [103].

2. Вертикальные грунтовые коллекторы.

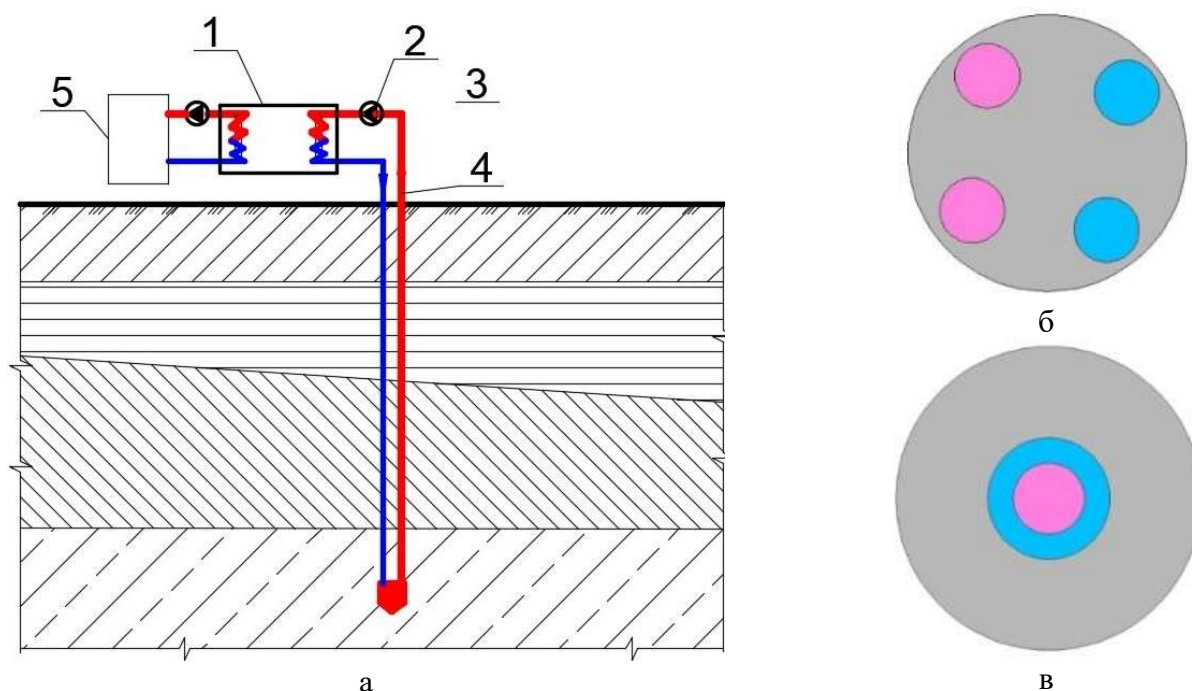


Рисунок 1.2 – Примеры вертикальных коллекторов в поперечном разрезе:
а – одиночный U – образного коллектор (1 – теплотрансформатор; 2 – насос; 3 – нагреваемый теплоноситель; 4 – нагретый теплоноситель; 5 – грунтовый массив; 6 – отопительный прибор); б – сдвоенный U – образный коллектор; в – коаксиальный коллектор.

Рассматриваемое исполнение является сравнительно дорогим способом использования тепловой энергии грунта, вследствие необходимости выполнения геологической разведки территории, использования бурового оборудования, а также устройства обсадных труб на песчаных, просадочных грунтах. Вертикальные грунтовые коллекторы, с целью экономии площади, занимают достаточно малую площадь территории. Применение вертикальных коллекторов, возможно, чуть ли не во всех типах грунтов.

Самое большое распространение получили три типа вертикальных грунтовых

теплообменника:

- одиночный U – образного коллектор, состоит из двух параллельных труб, соединенных в нижней части геотермальным наконечником;
- сдвоенный U – образный теплообменник, представляет собой две пары параллельных труб, соединенных в нижней части геотермальным наконечником;
- коаксиальный коллектор – схема в которой наружная труба используется в виде нагревающего контура, внутренняя – для передачи нагретого источника низкопотенциальной тепловой энергии в контур системы отопления [12].

3. Энергетические корзины.

Устройство теплообменной конструкции, которое устанавливается в грунте вертикально на глубине в среднем не более 5 метров и представляют собой отдельные контуры труб, с поэтапным увеличением закрученных спиралей. Энергетические корзины больше используются в изученных районах, вблизи термальных источников.

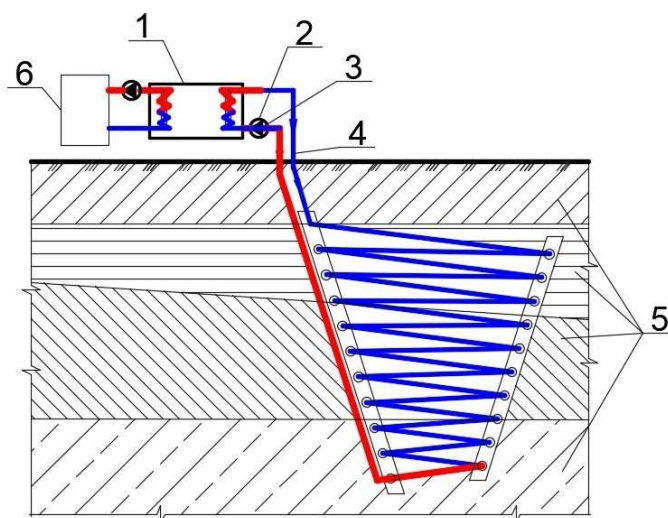


Рисунок 1.3 – Энергетическая корзина:

1 – теплотрансформатор; 2 – насос; 3 – нагреваемый теплоноситель; 4 – нагретый теплоноситель; 5 – грунтовый массив; 6 – отопительный прибор

2. Спиральный коллектор.

Теплообменная конструкция, которая устанавливается в грунте вертикально на глубине в среднем не более 5 метров и представляют собой отдельные контуры труб, закрученных спиралей одинакового диаметра. Спиральный коллектор используется в изученных районах, рядом с термальными источниками.



Рисунок 1.4 – Общий вид спирального коллектора

4. Наклонный коллектор.

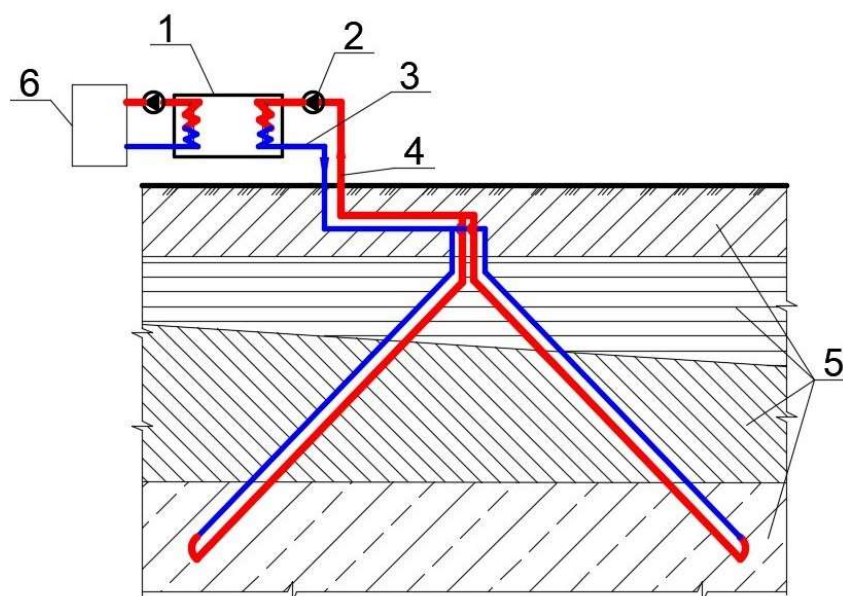


Рисунок 1.5 – Геотермальный наклонный коллектор: 1 – теплотрансформатор; 2 – насос; 3 – нагреваемый теплоноситель; 4 – нагретый теплоноситель; 5 – грунтовой массив; 6 – отопительный прибор

Рассматриваемый вариант коллектора, при наличии термальных источников с высокой температурой, является наиболее низкой по стоимости выполнения строительно-монтажных работ. Конструкция имеет высокую эффективность вследствие использования существующих термальных источников.

1.4.2 Виды грунтовых зондов в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений

Проблемы в крупных промышленно–урбанизированных городских территориях, вызванные отсутствием возможности подключения тепловой мощности при выполнении нового строительства, необходимостью снижения эксплуатационных затрат на отопление зданий и сооружений, подтверждает актуальность использования новых видов применения геотермального отопления в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений.

Виды теплообменников:

1. Энергетические буронабивные сваи.

Устройство конструкции выполняется по методу заливки бетонной смеси в установленный металлический каркас с закрепленными тепловым зондами, в подготовленную буровую скважину. Общий вид каркаса энергетических буронабивных свай указана на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Общий вид каркаса энергетической буронабивной сваи

2. Энергетические фундаментные стены.

Тепловые зонды, в настоящей конструкции, закрепляются в центральной

части металлического каркаса, с последующей заливкой бетонной смеси. Применение текущего решения выполняется в глубоко заглубленных зданиях и сооружениях в европейской части Российской Федерации в районе с низким уровнем промерзания грунта (экономически обосновано при глубине фундаментов не менее 6 м). Пример общего вида энергетических фундаментных стен представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Общий вид энергетической фундаментной стены с тепловыми зондами

3. Железобетонные канализационные насосные станции.

Текущий вариант используется на промышленных предприятиях, имеющих в эксплуатации КНС. Благодаря высокой температуре неочищенных сточных вод ($16\text{--}24^{\circ}\text{C}$), представленное решение имеет высокую актуальность в реализации проектов реконструкции или нового строительства КНС. Типовая железобетонная канализационная насосная станция с устройством тепловых зондов показана на рисунке 1.8.

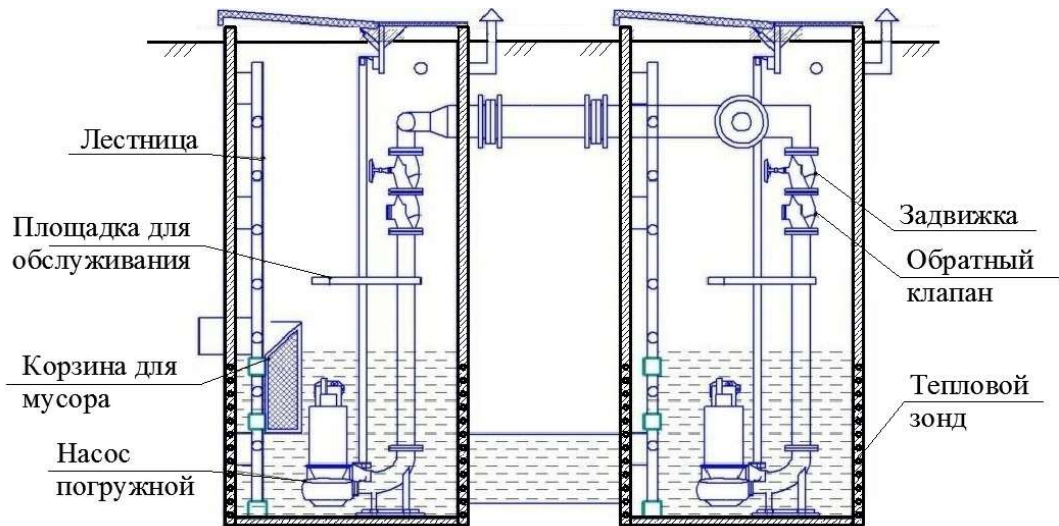


Рисунок 1.8 – Типовая железобетонная канализационная насосная станция с устройством тепловых зондов.

1.5 Предварительные выводы, постановка цели и задач исследования

В связи с отсутствием информации по теплофизическим показателям массива грунтов глубиной от 10–60 м в Омской области, изыскательские организации выполняют монтаж грунтовых зондов с шагом 4–6 м, используя опыт фирм, работающих на территории европейской части Российской Федерации. Практические работы с эксплуатируемыми теплообменниками подтверждают высокую погрешность, при понижении окружающей среды ниже -20°C , что приводит к вымораживанию грунтового массива и снижению заявленных заводских технических характеристик работы тепловых насосов.

Использование недостоверных физических, теплофизических характеристик грунтов приводит к ошибочным расчетам при проектировании грунтовых зондов, что приводит к неэффективной работе теплотрансформаторов. Кроме того, в Омском регионе нет исследовательских работ по низкопотенциальной энергии грунта, которые возможно использовать при проектировании [59].

Получение достоверных данных позволят определять минимальные расстояния между грунтовыми теплообменниками, необходимую площадь территории для разработки проектной документации и обеспечить надежную работу теплотрансформаторов в наиболее холодный период эксплуатации зданий (сооружений).

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ГОРОДА ОМСКА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОНДОВ

Одной из ключевых проблем, возникающих при проектировании геотермальных тепловых (энергетических) систем, является получение достоверных натуральных данных о температурном режиме грунтового массива, окружающего эксплуатируемые термические скважины. Анализ публикаций показывает, что в печати отсутствует информация о типовом климатическом годе естественного хода температур грунта [59]. Опубликованные данные содержат в основном результаты измерений метеостанциями температуры почвы на глубину промерзания от поверхности грунта. Кроме того, в соответствии с рекомендациями Всемирной Метрологической организации для формирования базы типовых климатических данных должны использоваться результаты, зарегистрированные на протяжении не менее чем на 30 лет. Вышеизложенное подтверждает актуальность рассматриваемого направления исследований.

Омская область по использованию низкопотенциального тепла, входит в благоприятные (выгодные), но малоисследованные территории Сибирского федерального округа. По имеющимся архивным данным Министерства промышленной политики, транспорта и связи Омской области (доклад о состоянии и об охране окружающей среды Омской области в 2007 году) в регионе разведан один участок термальных (теплоэнергетических) вод – Чистовский (Оконешниковский район), подземные воды которого приурочены к нижнемеловым отложениям тарской и киялинской свит. Температура воды в устье скважины составляет 60-65 °С [47].

Перспективными на термальные воды являются южные районы Омской области, где в отложениях покурской свиты на глубине 600–900 м вскрываются подземные воды с температурой на устье +25°С и выше (Нововаршавский, Русско-Полянский, Шербакульский, Оконешниковский районы).

2.1 Обоснование и номенклатура исследований физико-механических и теплофизических характеристик грунтов г. Омска

Краткая характеристика исследуемой территории города Омска:

- территория относится к I климатическому району, подрайону I В, в пределах которого среднемесячная температура воздуха в январе колеблется в пределах от минус 14 до минус 28 ° С, а в июле от плюс 12 до плюс 21 ° С. [10];
- зона влажности г. Омска – сухая. Климатическая характеристика района работ составлена по данным наблюдения метеостанции Омск [48];
- климат района резко-континентальный с суровой продолжительной зимой и сравнительно коротким, но жарким летом;
- средняя годовая температура воздуха составляет плюс 1,7 ° С. Наиболее холодным месяцем в году является январь со среднемесячной температурой воздуха минус 17,2 ° С, в отдельные годы температура воздуха зимой может понижаться до минус 49 ° С;
- средняя месячная температура июля, самого теплого месяца, составляет плюс 19,5 ° С.
- самая высокая температура наблюдалась в июне, июле и составила плюс 40 ° С;
- продолжительность теплого и холодного периодов составляет 7 и 5 месяцев;
- расчетная температура самой холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 составляет минус 37 ° С, с обеспеченностью 0,98 – минус 39 ° С.
- температура почвы связана с температурой воздуха. Наиболее низкая средне-месячная температура поверхности почвы наблюдается в январе (минус 19 ° С), наиболее высокая – в июле (плюс 24 ° С). Средняя годовая температура поверхности почвы составила плюс 2 ° С. С глубиной температура почвы в летние месяцы убывает, в зимние, напротив, температура почвы с глубиной выше, так как сначала охлаждается ее поверхность. Начиная с глубины 2,0 м. средняя месячная температура почвы в данном районе имеет только положительные значения;
- нормативная глубина сезонного промерзания [10] суглинков, глин – 1,82 м, супеси и песков мелких – 2,22 м.

Тепловой поток территории Западной Сибири изменяется в широких пределах, от $0,03 - 0,09 \text{ Вт/м}^2$, в среднем составляя $0,053 - 0,054 \text{ Вт/м}^2$ [3]. В соответствии с Геотермическим атласом Сибири и Дальнего Востока [4] в Омской области преобладают тепловые потоки $0,04 - 0,050 \text{ Вт/м}^2$, локально $0,06 - 0,07 \text{ Вт/м}^2$. В связи с малоизученностью (вышеуказанные исследования представлены на глубине от 0,5 км от поверхности земли), существенным перепадом термальной энергии грунтов, актуальность предпроектных инженерно-геологических изысканий, является востребованной [59].

Анализ работы эксплуатируемых теплотрансформаторов позволяет констатировать, что при эксплуатации оборудования на локальных объектах, при температуре наружного воздуха менее -20°C , температура теплоносителя на выходе с грунтового зонда понижается до 0°C , уменьшая, таким образом, коэффициент трансформации – COP (см. раздел 1.4).

Выявленные факты свидетельствуют о наличии ошибочных расчетов при выполнении проектных работ.

Основными исходными данными при выполнении проектирования геотермальной системы отопления являются:

- температура грунтового массива;
- теплоемкость грунтового массива;
- глубина «Нейтральной зоны грунта»;
- климатический район объекта строительства;
- площадь ограждающих конструкций объекта капитального строительства;
- площадь дверных, оконных проемов;
- воздушно-тепловой режим помещений.

На основании ранее выполненных исследований установлено, что эксплуатируемые теплотрансформаторы, имеющие низкий коэффициент трансформации, потребляют в среднем на 50-60 % больше электроэнергии чем тепловые насосы, установленные с учетом ранее выполняемых изыскательских работ. Для исключения ошибочных расчетов на этапе исполнения проектных работ геотермального отопления, необходимо выполнять инженерные изыскания на территории

строительства, что значительно увеличит экономическую эффективность работы теплового оборудования и существенно снизит потребление электроэнергии при неблагоприятных атмосферных условиях.

В связи с отсутствием информации по теплофизическим показателям массива грунтов глубиной от 10–60 м в Омской области, изыскательские организации выполняют монтаж грунтовых зондов с шагом 4–6 м, используя опыт фирм, работающих на территории европейской части Российской Федерации. Отсутствие достоверных физических, теплофизических характеристик грунтов приводит к ошибочным расчетам при проектировании грунтовых зондов, что приводит к неэффективной работе теплотрансформаторов. Кроме того, в Омском регионе отсутствуют исследовательские работы по низкопотенциальной энергии грунта, которые можно использовать при проектировании [59].

Исследовательские работы, позволят достоверно выполнять монтаж грунтовых зондов на территориях в окружении г. Омска, тем самым исключить подтвержденную высокую погрешность при понижении окружающей среды ниже -20°C .

2.2 Формирование номенклатуры полевых работ

Для определения физических и теплофизических характеристик грунтов, г. Омске, Омском районе и области, выполнено бурение 62 контрольных скважин с отбором монолитов для лабораторных исследований. Необходимость объема выполнения полевых работ обусловлена разнотипностью массива грунтов, а также отбором грунтов с приближенными характеристиками (при отборе) для определения средних значений исследуемых образцов.



Рисунок 2.1 – Отбор монолитов грунта

Монолит – образец грунта определенной формы, в котором при отборе из массива грунта сохраняются ненарушенное сложение и влажность грунта [46].

По результатам полевых работ отобранным образцам грунтов присвоены идентичные номера, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Отобранные монолиты образцов для лабораторных исследований

№ типа исследуемых образцов	Количество отобранных монолитов	Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2011
1	22	Супесь твердая
2	22	Супесь пластичная
3	22	Супесь текучая
4	22	Глина твердая
5	22	Глина полутвердая
6	22	Глина тугопластичная
7	22	Глина мягкопластичная
8	22	Суглинок твердый
9	22	Суглинок полутвердый
10	22	Суглинок тугопластичный
11	22	Суглинок мягкопластичный
12	22	Суглинок текучепластичный
13	22	Песок пылеватый плотный, влажный
14	22	Песок мелкий

2.3 Результаты лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов

На рисунке 2.2 представлен разрез скважины с описанием отбираемых исследуемых грунтов. В соответствии с ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик, определены [5]:

1. Влажность грунта W , %, по формуле:

$$W = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (2.1)$$

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

2. Влажность грунта на границе текучести (W_L , %) методом балансирующего конуса, определена как влажность, приготовленная из исследуемого грунта пасты, при которой балансирующий конус погружается под действием собственной массы за 5 секунд на глубину 10 мм, вычисляется по формуле:

$$W_L = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (2.2)$$

3. Влажность грунта на границе раскатывания (пластичности) (W_p , %), определена как влажность приготовленной из исследуемого грунта пасты, при которой паста, раскатывается в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3–10 мм, определяем по формуле:

$$W_p = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (2.3)$$

4. Плотность грунта ρ , г/см³,

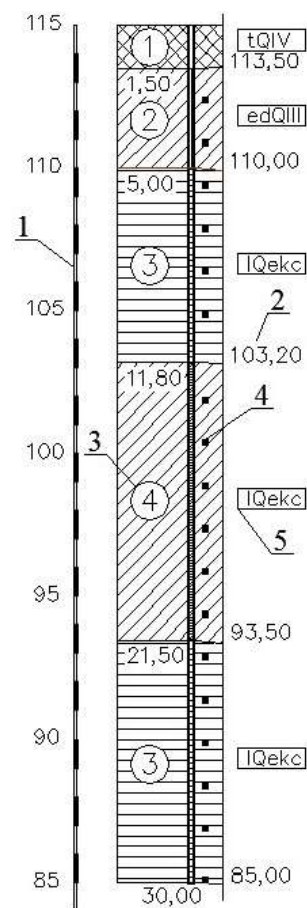


Рисунок 2.2 – Пример разреза исследуемой скважины:
1 – горизонтальный масштаб разреза, м.; 2 – абсолютная отметка пересечения инженерно-геологического элемента (ИГЭ); 3 – номер ИГЭ; 4 – точка отбора монолита ИГЭ; 5 – индекс ИГЭ.

находим по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0 - m_2}{V} \quad (2.4)$$

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

5. Плотность скелета (сухого) грунта ρ_d , г/см³, вычисляем по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0,01w}, \quad (2.5)$$

6. Объем пикнометра V_{π} , см³, получим по формуле:

$$V_{\pi} = (m'_2 - m_{\pi}) / \rho_w \quad (2.6)$$

где, m'_2 – масса пикнометра с дистиллированной водой (или нейтральной жидкостью) – при температуре тарировки, г; m_{π} – масса пустого пикнометра, г; ρ_w – плотность воды (или нейтральной жидкости) при той же температуре, г/см³.

7. Массу пикнометра с дистиллированной водой или нейтральной жидкостью m_2 , г, при температуре испытаний находим по формуле:

$$m_2 = m_{\pi} + \rho_w V_{\pi}, \quad (2.7)$$

где, ρ_w – плотность воды (или нейтральной жидкости) при той же температуре испытаний.

8. Плотность частиц грунта ρ_s , г/см³, определяем по формуле:

$$\rho_s = \frac{\rho_w m_0}{m_0 + m_2 - m_1}, \quad (2.8)$$

где m_0 – масса сухого грунта, г; m_1 – масса пикнометра с водой и грунтом после кипячения при температуре испытания, г; m_2 – масса пикнометра с водой при той же температуре, г; ρ_w – плотность воды при той же температуре, г/см³.

Примечание: массу сухого грунта m_0 определили как разность результатов двух взвешиваний, выполненных по 13.3.1. ГОСТ 5180-2015.

9. Определение грунта в воздушно–сухом состоянии m_0 вычислили по формуле:

$$m_0 = \frac{m}{1 + 1,01w_g}, \quad (2.9)$$

где m – масса пробы воздушно–сухого грунта, г; w_g – гигроскопическая влажность грунта, %.

Лабораторные исследования выполнялись в грунтовой лаборатории ООО «СПК» (заключение о состоянии измерений в лаборатории №056-ИЛ-19 выданное Федеральным бюджетным учреждением «Государственным региональным центром стандартизации, метрологии и испытаний Омской области» – приложение 9). Результаты физико-механических свойств исследуемых грунтов приведены в таблице №3, приложении 1.

На рисунках 2.3-2.16 представлены зависимости естественной влажности отобранных монолитов от глубины буровой скважины, на основании результатов исследовательских работ.

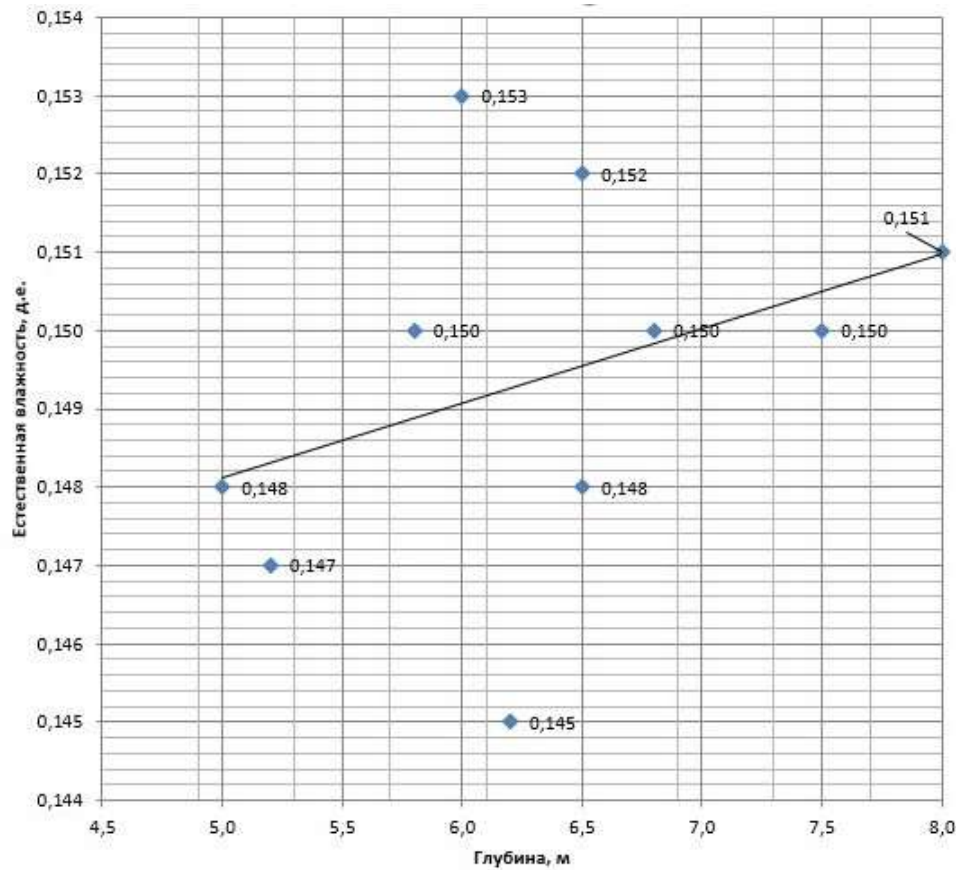


Рисунок 2.3 – Зависимость естественной влажности супеси твердой от глубины буровой скважины

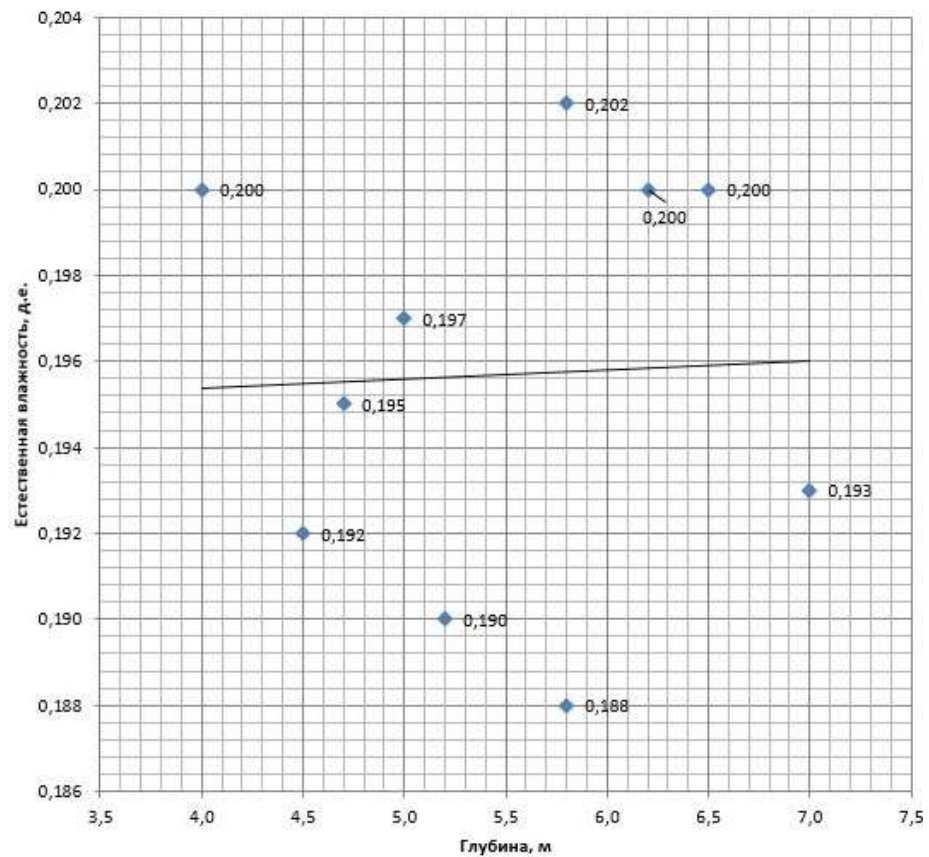


Рисунок 2.4 – Зависимость естественной влажности супеси пластичной от глубины буровой скважины

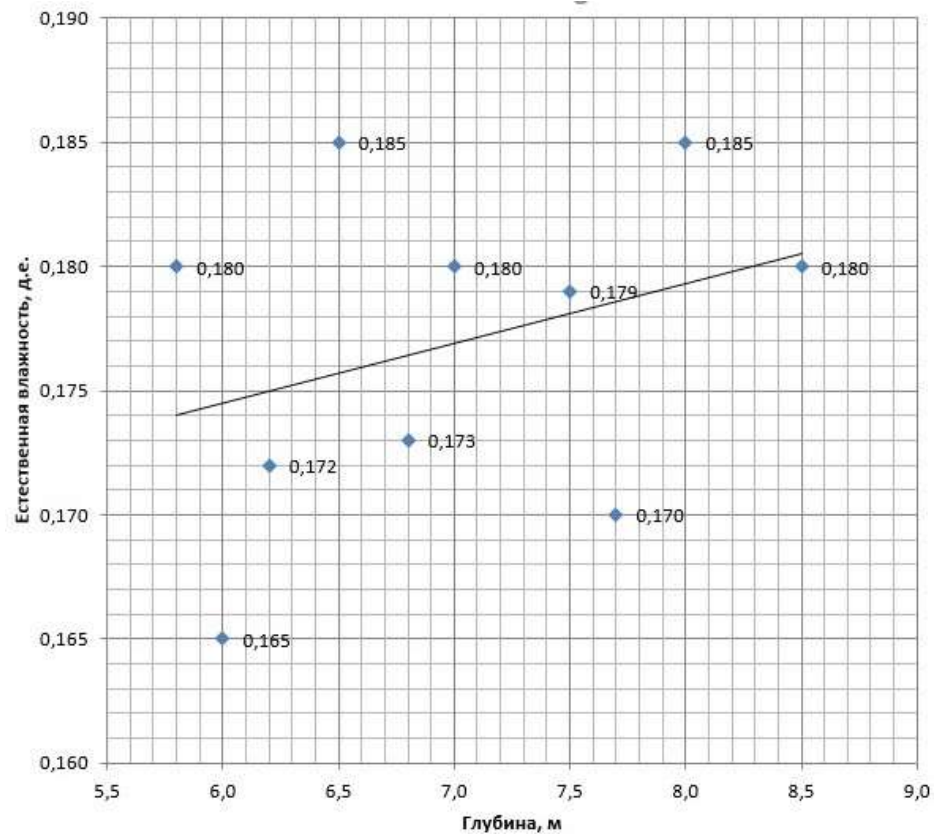


Рисунок 2.5 – Зависимость естественной влажности супеси текучей от глубины буровой скважины

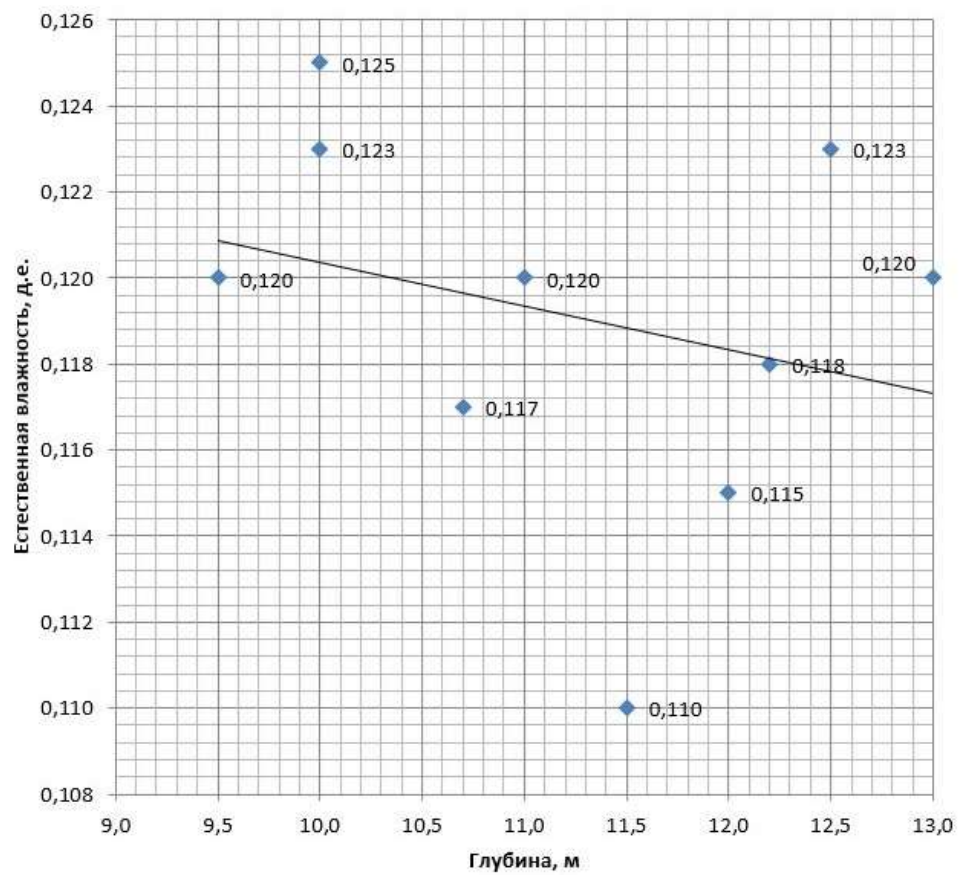


Рисунок 2.6 – Зависимость естественной влажности глины твердой от глубины буровой скважины

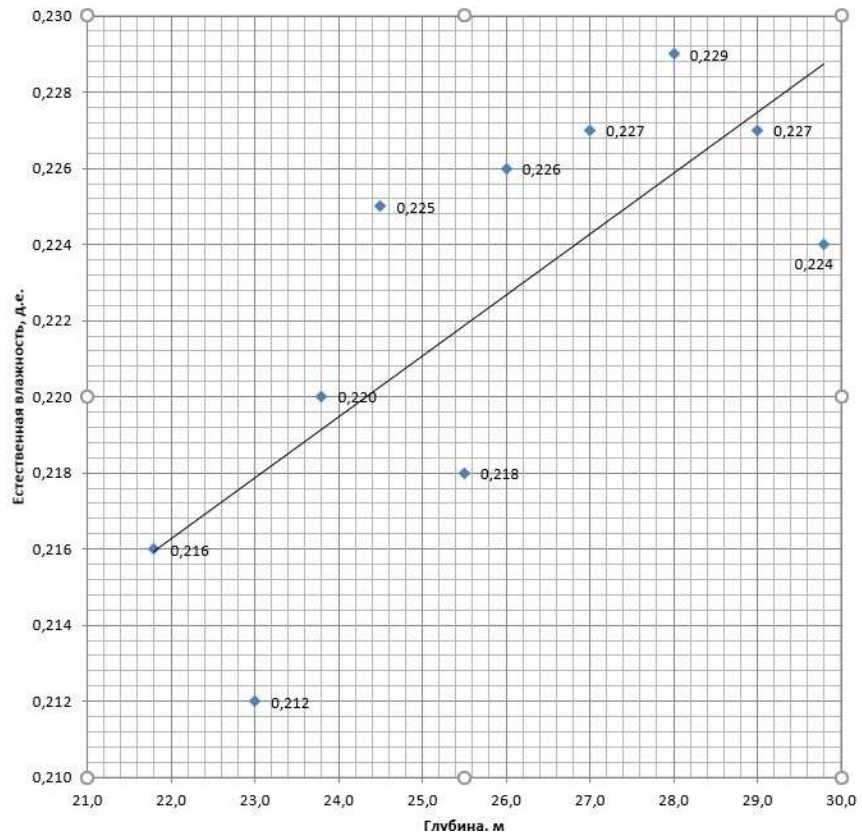


Рисунок 2.7 – Зависимость естественной влажности глины полутвердой от глубины буровой скважины

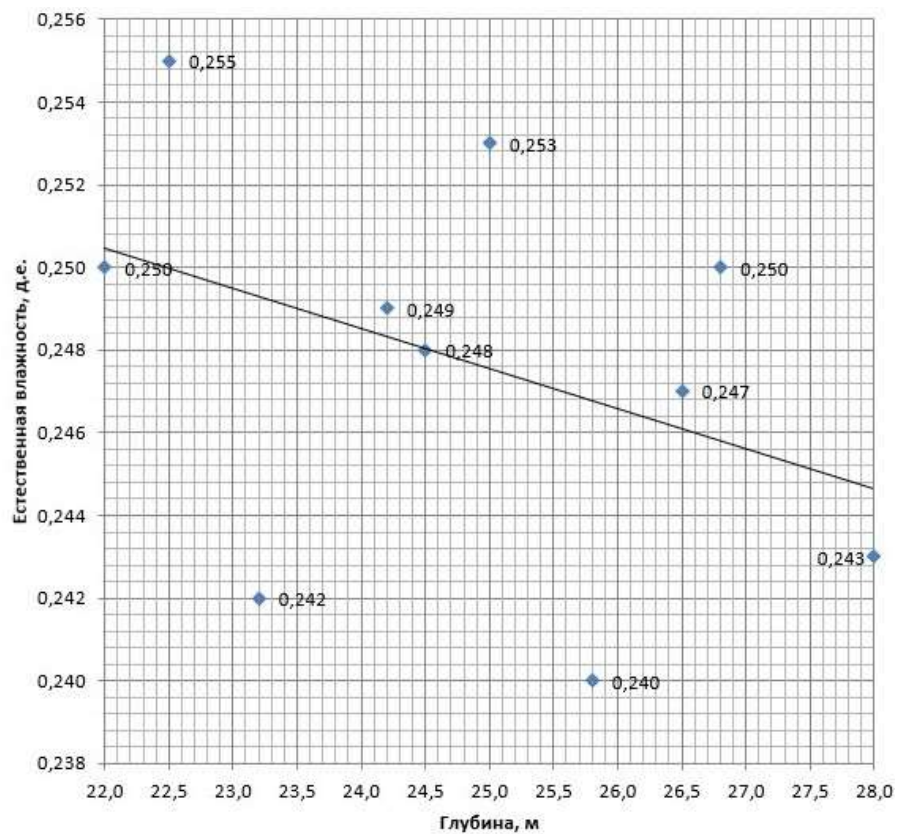


Рисунок 2.8 – Зависимость естественной влажности глины тугопластичной от глубины буровой скважины

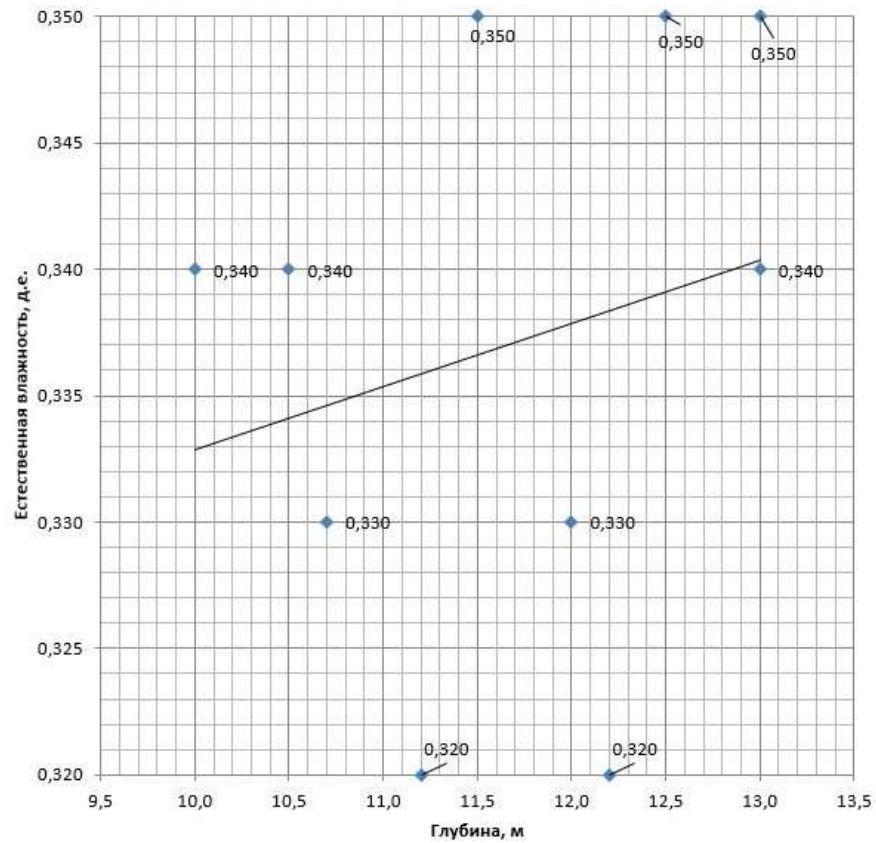


Рисунок 2.9 – Зависимость естественной влажности глины мягкопластичной от глубины буровой скважины

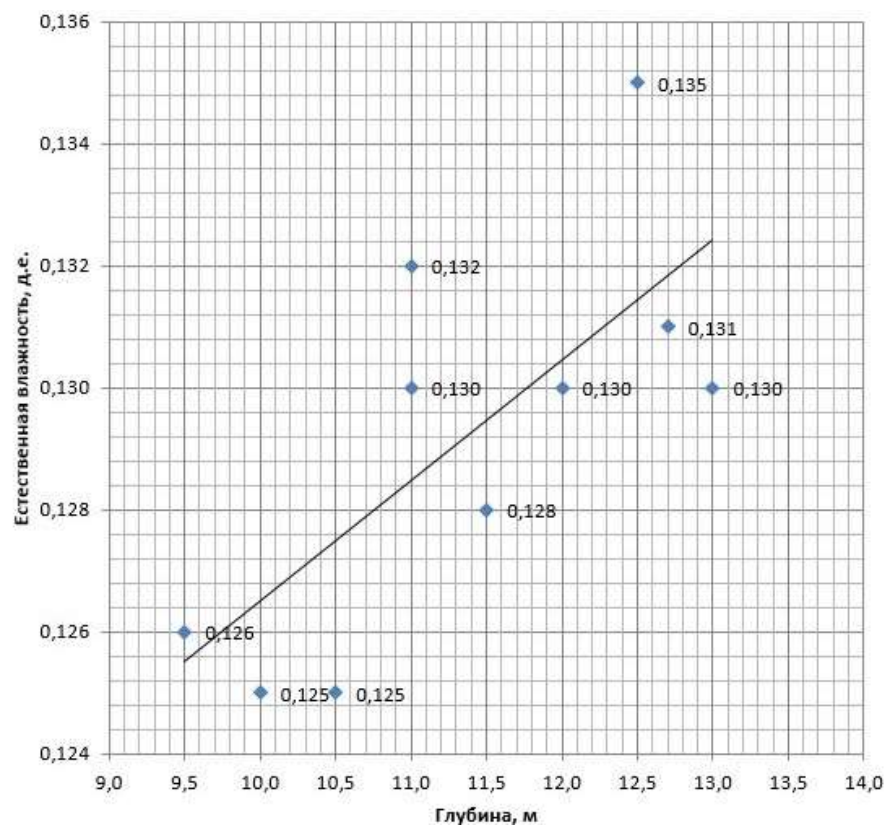


Рисунок 2.10 – Зависимость естественной влажности суглинка твердого от глубины буровой скважины

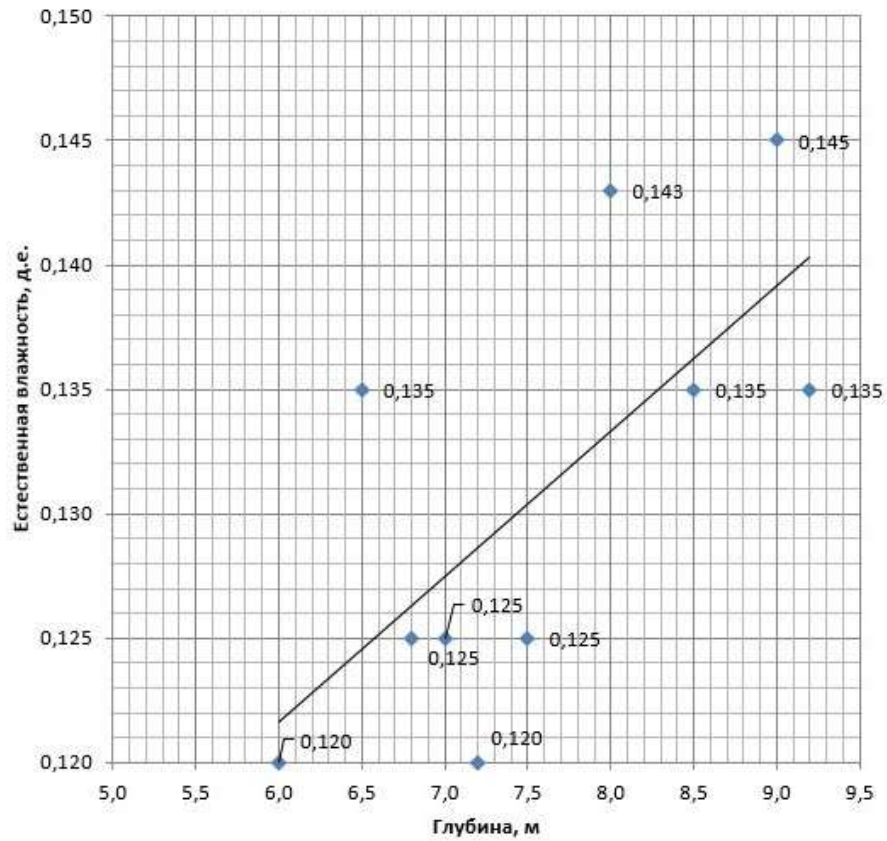


Рисунок 2.11 – Зависимость естественной влажности суглинка полутвердого от глубины буровой скважины

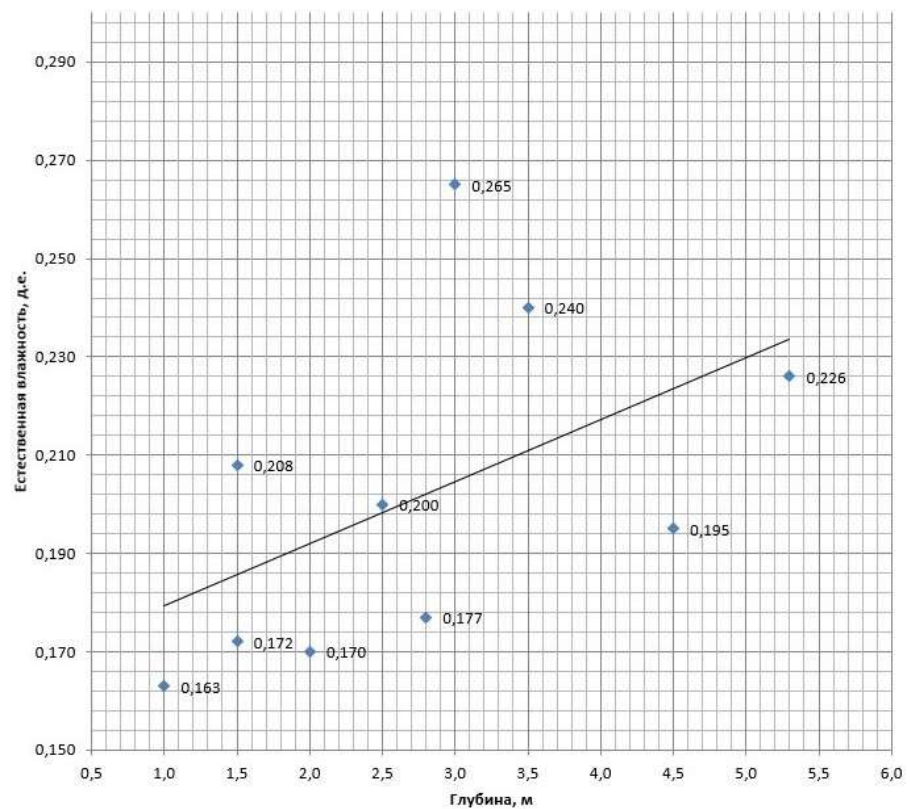


Рисунок 2.12 – Зависимость естественной влажности суглинка тугопластичного от глубины буровой скважины

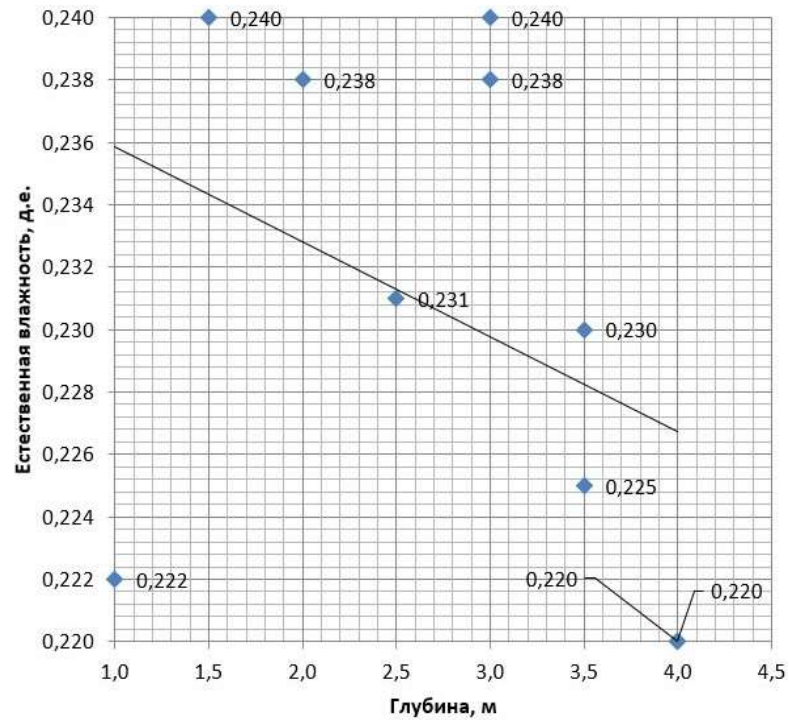


Рисунок 2.13 – Зависимость естественной влажности суглинка мягкопластичного от глубины буровой скважины

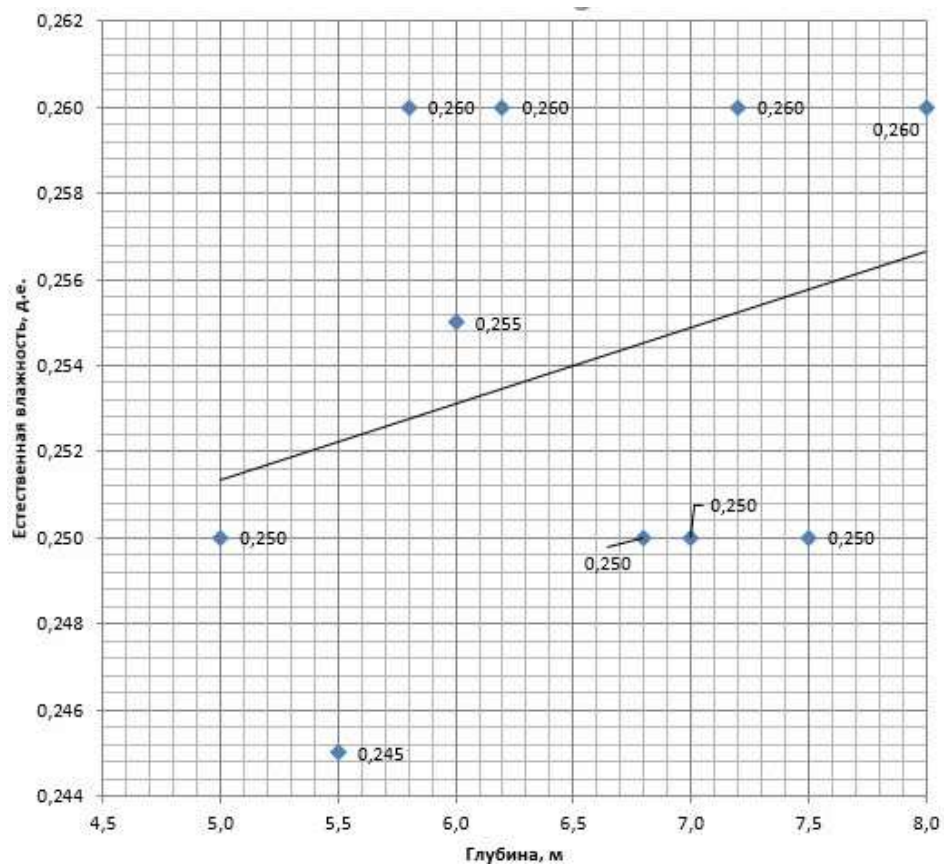


Рисунок 2.14 – Зависимость естественной влажности суглинка текучепластичного от глубины буровой скважины

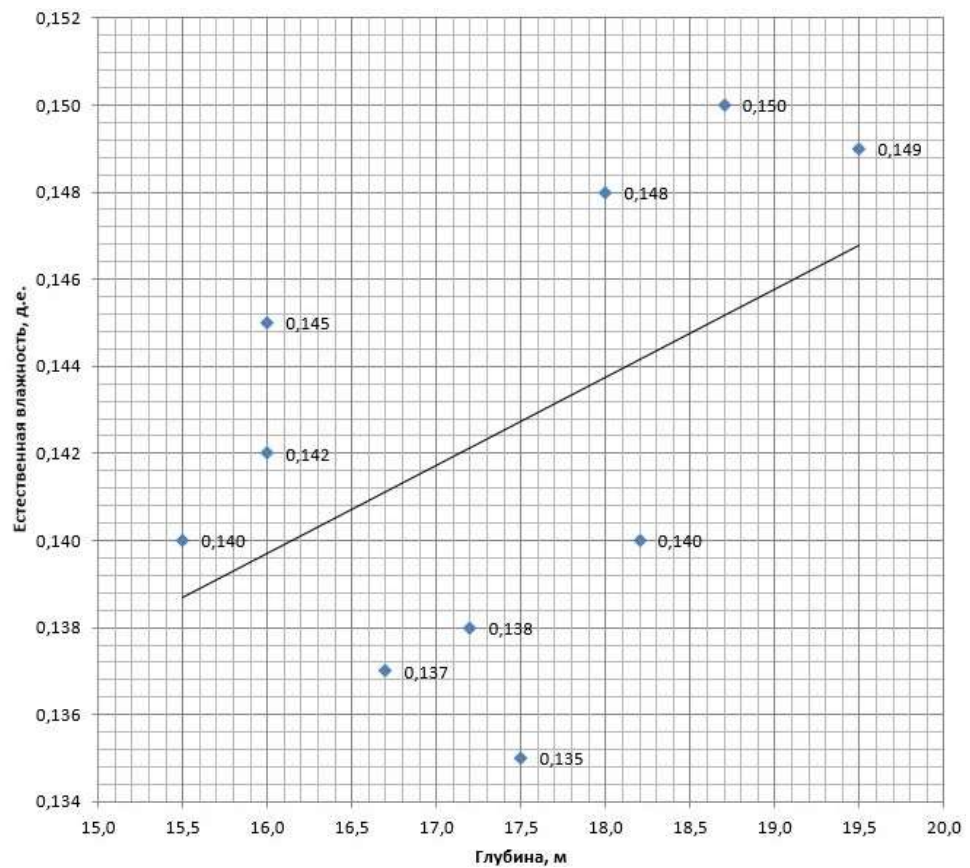


Рисунок 2.15 – Зависимость естественной влажности песка пылеватого плотного, влажного от глубины буровой скважины

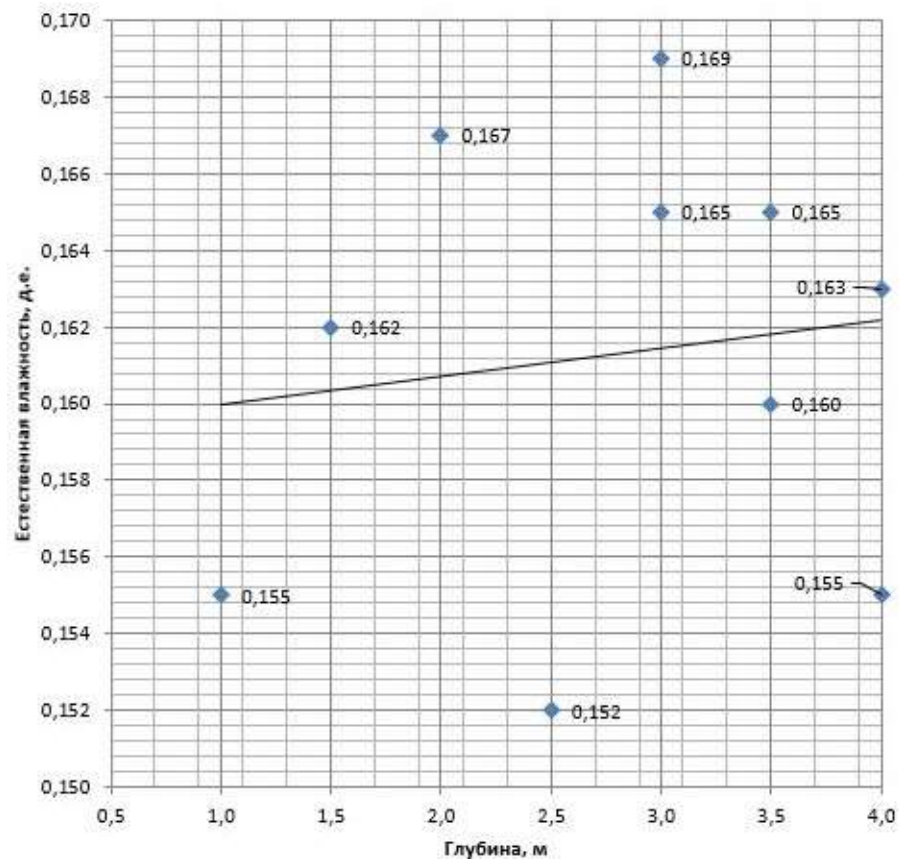


Рисунок 2.16 – Зависимость естественной влажности песка мелкого от глубины буровой скважины

Анализ исполненных разрезов скважин, а также материалы лабораторных исследований грунтовых массивов, зависимостей естественной влажности от глубины выработок позволили установить:

– естественная влажность грунтов по отобранным монолитам 1-3, 5, 7-10, 12-14 увеличивается в связи с присутствием прослоев супесей и суглинков текучей консистенции и песков, насыщенных водой;

– естественная влажность грунтов по отобранным образцам 4, 6, 11 уменьшается в следствии присутствия прослоев супеси твердой, суглинков твердых и глин твердой, тугопластичной и полутвердой консистенции, которые являются локальными водоупорами;

– составлена ведомость средних результатов лабораторных исследований по физико-механическим характеристикам исследованных образцов грунтового массива (см. таблицу 2.2), показатели которых являются материалами для выполнения проектирования грунтовых зондов.

Таблица 2.2 – Ведомость средних результатов лабораторных исследований по физико-механическим характеристикам исследованных разновидностей грунтов по ГОСТ 25100-2011

№ п/п	Разновидность грунта	Естественная влажность грунта, д. ед	Пористость грунта, %	Коэффициент пористости	Коэффициент водонасыще- ния	Плотность ча- стиц грунта, г/см ³
1	Супесь твердая	0,15	30,5	0,44	0,92	2,69
2	Супесь пластичная	0,20	34,8	0,53	1	2,69
3	Супесь текучая	0,18	35,9	0,56	0,85	2,69
4	Глина твердая	0,12	34,7	0,53	0,62	2,75
5	Глина полутвердая	0,22	40,4	0,68	0,90	2,75
6	Глина тугопластичная	0,25	42,6	0,74	0,92	2,75
7	Глина мягкопластичная	0,34	46,9	0,88	1	2,69

8	Суглинок твердый	0,13	33,2	0,50	0,71	2,72
9	Суглинок полутвердый	0,13	34,4	0,52	0,68	2,72
10	Суглинок тугопластичный	0,20	38,7	0,63	0,86	2,72
11	Суглинок мягкопластичный	0,23	43,5	0,77	0,81	2,72
12	Суглинок текучепластичный	0,25	41,4	0,71	0,97	2,72
13	Песок пылеватый плотный, влажный	0,14	33,3	0,51	0,78	2,67
14	Песок мелкий	0,16	39,3	0,66	0,70	0,67

2.4 Результаты лабораторных исследований теплофизических свойств грунтов

Теплоемкость грунта характеризует его способность аккумулировать тепло. Различают удельную и объемную теплоемкость [11].

Объемная теплоемкость (C , ккал/м³.град) численно равна количеству тепла, необходимого для изменения температуры единицы объема грунта на 1 градус.

Объемная теплоемкость грунта определяется как:

$$C = c\gamma_{об}, \quad (2.10)$$

где $\gamma_{об}$ – объемный вес грунта, кг/м³; c – удельная теплоемкость, ккал/кг.град.

Для определения коэффициента теплопроводности грунта (отобранных монолитов), использован метод теплового импульса, в условиях грунтовой лаборатории. Способ исследования был основан на нагреве образцов плоским электрическим нагревателем в течении заданного промежутка времени.

В опыте измеряли скорость изменения температуры образцов на поверхности контакта с плоским нагревателем и на фиксированном расстоянии от него. Метод применяют для комплексного определения теплофизических характеристик

грунтов при положительных температурах от 0–40 °С на двух одинаковых образцах. Устройство прибора представлено на рисунке 2.17.

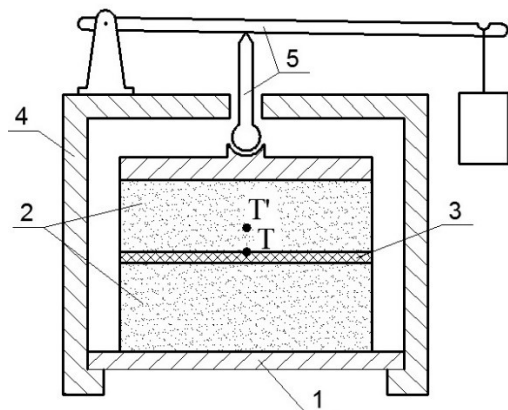


Рисунок 2.17 – Схема прибора для определения коэффициента теплопроводности грунтов по методу теплового импульса: 1 – подставка; 2 – образец монолита грунта; 3 – плоский электрический нагреватель; 4 – теплоизоляционный кожух; 5 – прижимное устройство; T, T' – термопары.

По данным испытаний коэффициент теплопроводности исследованного образца грунта был определен по формуле [64]:

$$\lambda_T = \frac{Q_3 \sqrt{a} (\sqrt{t} - \sqrt{t - t_0})}{\sqrt{\pi} F (T - T_0)}, \quad (2.11)$$

где $Q_3 = 0,86 U_2 / R_3$ – тепловая мощность нагревателя (определяется по заводским характеристикам прибора), ккал/ч;

F – площадь нагревателя в контакте с одним образцом, м²

$$a = \frac{l^2}{4t \cdot y} \quad (2.12)$$

где a – коэффициент температуропроводности грунта, м²/ч;

l – расстояние от нагревателя до термопары T' , м;

T – температура образца в момент времени t (ч), измеренная по термометру T_3 , °С;

t_0 – продолжительность действия нагревателя, ч;

t' – продолжительность времени к моменту измерения температуры по термометру T_3 , ч;

y – значение определяемое по функции $B(y)$ (см. таблицу 19) [64].

Величина функции $B(y)$ определяется по формуле:

$$B(y) = \frac{(T'' - T_0)(\sqrt{t} - \sqrt{t - t_0})}{(T - T_0)\sqrt{t}}, \quad (2.12)$$

где T_0 – начальная температура образца, °C; T'' – температура образца в момент времени t , измеренная по термопаре T' , °C.

Контрольное определение коэффициента теплопроводности образца грунта определена по формуле:

$$\lambda'_T = \frac{Q_3 \sqrt{a} [\sqrt{t_{max}} B(y_1) - \sqrt{t_{max} - t_0} B(y_2)]}{\sqrt{\pi} F (T_{max} - T_0)}, \quad (2.13)$$

где T_{max} – значение максимума температуры в месте расположения термопары T' , °C; t_{max} – время наступления максимума температуры по термопаре T' , отсчитанное от начала включения нагревателя, ч.

$B(y_1)$, $B(y_2)$ – значения функции $B(y)$, определено по формулам:

$$y_1 = \frac{t_{max} - t_0}{t_0} \ln \sqrt{\frac{t_{max}}{t_{max} - t_0}}, \quad (2.14)$$

$$y_2 = \frac{t_{max}}{t_0} \ln \sqrt{\frac{t_{max}}{t_{max} - t_0}}, \quad (2.15)$$

Величину коэффициента теплопроводности исследованных образцов грунта приняли по среднему арифметическому значению основного и контрольного определений, вычисленных с точностью до 0,01 ккал/м·ч·град. В случае выявления разницы значений коэффициента теплопроводности в основном и контрольном определениях, превышающих 5%, опыт выполнялся повторно. Лабораторные исследования выполнялись в геофизиологической лаборатории ООО «ГТС» (аттестат аккредитации №АСС.А.00311 выданный органом по аккредитации АА) «Аналитика» –

приложение 10).

Дополнительно теплофизические параметры отобранных монолитов определялись при помощи прибора KD2 Pro (свидетельство о поверке №Н2413/2057-2020 – Приложение 6), принцип работы которого основан на измерении скорости изменения температуры цилиндрического зонда, погруженного в испытываемый материал. Зонд с одним щупом предназначен для измерения теплопроводности и теплового сопротивления. Зонд с двумя щупами служит для измерения удельной теплоемкости и температуропроводности. Общий вид прибора, выполнение лабораторных исследований монолита грунта, представлены на рисунок 2.18.



Рис 2.18 – Общий вид прибора KD2 Pro

Краткое описание прибора KD2 Pro:

- рабочие условия измерительного блока: от 0 - 50 ° C;
- рабочие условия зондов: от -50 до +150 ° C;
- питание: 4 AA батарейки
- срок службы батареек: не менее 500 показателей при постоянном

использовании или 3 года, если не использовать;

- клавиш: 6;
- Память: 4095 измерения во флэш-памяти (сохраняются как исходно получаемые данные, так и обратные для скачивания);
- Режим памяти: ручной и автоматический;
- Экран: 3 см · 6 см, 128 · 64 пикселей LCD;
- габаритные размеры: 15,5 см · 9,5 см · 3,5 см
- Интерфейс: 9-пиновый серийный.

Таблица 2.3 – Метрологические и технические характеристики различных зондов прибора KD2Pro

Наименование характеристики	Значение характеристик зонда			
	Зонд KS-1	Зонд TR-1	Зонд SH-1	Зонд RK-1*
1	2	3	4	5
Диапазон измерений теплопроводности, Вт/(м·К) при температуре, °С	от 0,02 до 2,00 От -50 до 150	от 0,10 до 4,00 от -50 до 150	от 0,02 до 2,00 от -50 до 150	от 0,1 до 6,00 от -50 до 50
Диапазон определения удельного теплового сопротивления, К·м/Вт	от 0,5 до 50	от 0,25 до 10	от 0,5 до 50	от 0,17 до 10
Диапазон измерений температуропроводности, м ² /с	-	-	(0,1 – 1) · 10 ⁻⁶	-
Диапазон измерений объемной теплоемкости, МДж/(м ³ ·К)	-	-	0,5 – 4	-
Пределы допускаемой абсолютной неопределенности измерений теплопроводности	± 7%	±10%	± 10%	±10%
	в диапазоне 0,10 – 2,0 Вт/(м·К)	в диапазоне 0,2 – 4,0 Вт/(м·К)	в диапазоне 0,1 – 2,0 Вт/(м·К)	в диапазоне 0,2 – 6,0 Вт/(м·К)
	±0,01 Вт/(м·К)	±0,02 Вт/(м·К)	± 0,01 Вт/(м·К)	±0,02 Вт/(м·К)
	в диапазоне 0,02 – 0,10 Вт/(м·К)	в диапазоне 0,10 – 0,20 Вт/(м·К)	в диапазоне 0,02 – 0,10 Вт/(м·К)	в диапазоне 0,1 – 0,2 Вт/(м·К)

Пределы допускаемой относительной абсолютной неопределенности температуропроводности, %	-	-	± 10	-
Пределы допускаемой относительной абсолютной неопределенности объемной теплоемкости, %	-	-	± 10	-
Среднее время проведения измерений, мин	1	5	2	10
Габаритные размеры зонда, мм (диаметр, длина)	1,3, 60	2,4, 100	1,3, 30	3,96, 60
Длина кабеля, м	0,8	0,8	0,8	0,8
Габаритные размеры, (высота, ширина, длина), мм, не более	200, 120, 50			
Масса без батареек, кг, не более	0,5			
Тип питания	4 батарейки типа АА			
Условия эксплуатации: диапазон температуры окружающего воздуха, °С диапазон атмосферного давления, кПа диапазон относительной влажности воздуха, %	от 0 до 50 от 84 до 106,7 от 30 до 80			
Средний срок службы, лет	10			

По результатам выполненных работ составлена ведомость средних результатов лабораторных изысканий по теплофизическим характеристикам исследованных образцов грунтового массива, которая представлена в таблице 2.4

Таблица 2.4 – Ведомость средних результатов лабораторных исследований по теплофизическим характеристикам исследованных образцов грунтового массива

№ п/п	Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2011	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Объемная теплоемкость, МДж/(м ³ ·К)
1	Супесь твердая	1,815	3,291
2	Супесь пластичная	1,793	3,522
3	Супесь текучая	1,636	3,461
4	Глина твердая	1,223	3,649
5	Глина полутвердая	1,392	3,604
6	Глина тугопластичная	1,412	3,662
7	Глина мягкопластичная	1,714	3,928
8	Суглинок твердый	1,331	3,755
9	Суглинок полутвердый	1,294	3,554
10	Суглинок тугопластичный	1,426	3,039
11	Суглинок мягкопластичный	1,375	3,365
12	Суглинок текучепластичный	1,323	3,190
13	Песок пылеватый плотный, влажный	1,734	3,140
14	Песок мелкий	1,806	3,292

Теплоемкость различных почв зависит не столько от состава твердой части почвы, сколько от количества воздуха и воды, находящихся в порах, так как объемная теплоемкость воды равна $4,2 \cdot 10^3$ кДж/(м³·К), воздуха - 1,2 кДж/(м³·К).

Коэффициент теплопроводности твердой части почвы, изменяется от 0,25 до 8,80 Вт/(м·К). Поскольку коэффициент теплопроводности воды в 20 раз больше, чем воздуха, то теплопроводность почвы в значительной степени зависит от влажности и пористости почвы [65].

На рисунке 2.19 представлена зависимость, при которой коэффициент теплопроводности с увеличением влажности почвы от 2 до 8% стремительно возрастает, а после чего рост замедляется, так как с увеличением влажности теплопроводность почвы приближается к теплопроводности воды, которая меньше теплопроводности минеральных частей почвы.

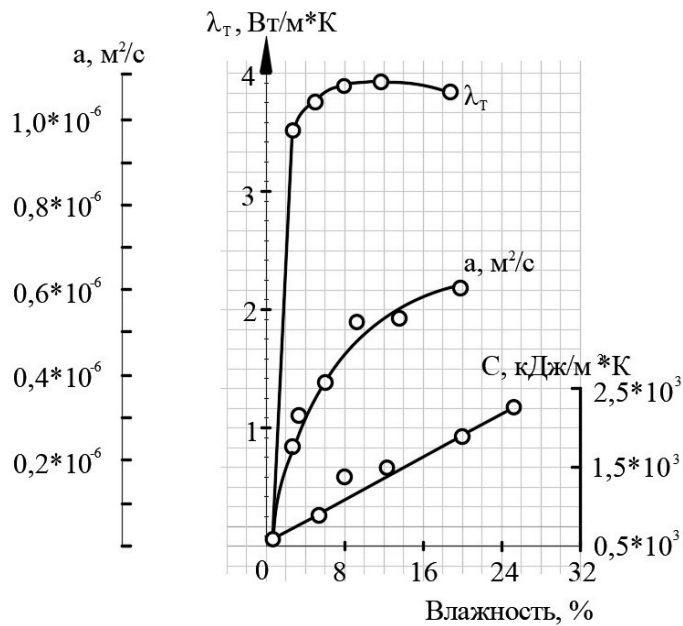


Рисунок 2.19 – Средние изменения теплофизических характеристик грунтов относительно влажности: a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; λ_t – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; C – объемная теплоемкость, $\text{кДж}/\text{м}^3\cdot\text{К}$

С увеличением пористости теплопроводность почвы уменьшается, так как теплопроводность твердых частей почвы более чем в 100 раз больше молекулярной теплопроводности воздуха. Пример графика изменения теплопроводности относительно влажности представлен на рисунке 2.20. Таким образом, при рассмотрении тепловых свойств почвы в первую очередь необходимо учитывать ее пористость и влажность.

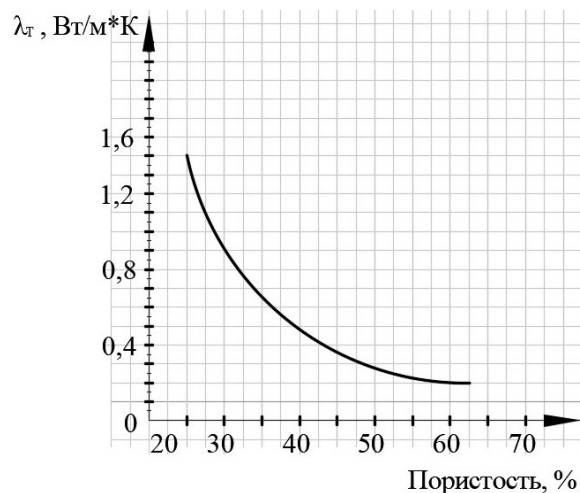


Рисунок 2.20 – График изменения теплопроводности относительно влажности.

2.5 Выводы по результатам теплофизических исследований

Для выполнения проектных расчетов грунтовых зондов г. Омска определены следующие исходные данные:

- средний коэффициент теплопроводности грунтового массива - 1,52 Вт/(м·К);
- средняя объемная теплоемкость - 3461 кДж/(м³·К).

По результатам выполненных лабораторных исследований составлена ведомость средних результатов по физическо-механическим и теплофизическим характеристикам, исследованных образцов грунтового массива, представлена в таблице №6.

По полученным результатам лабораторных исследований сформирована ведомость показателей физико-механических и теплофизических характеристик исследованных разновидностей грунтов по ГОСТ 25100–2011 (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Ведомость результатов лабораторных исследований по физико-механическим и теплофизическим характеристикам исследованных разновидностей грунтов

Разновидность грунта	Естественная влажность грунта, д. ед	Пористость грунта, %	Коэффициент пористости	Коэффициент водонасыщения	Плотность частиц грунта, г/см ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Объемная теплоемкость, МДж/(м ³ ·К)
Супесь твердая	0,15	30,5	0,44	0,92	2,69	1,815	3,291
Супесь пластичная	0,20	34,8	0,53	1	2,69	1,793	3,522
Супесь текучая	0,18	35,9	0,56	0,85	2,69	1,636	3,461
Глина твердая	0,12	34,7	0,53	0,62	2,75	1,223	3,649
Глина полутвердая	0,22	40,4	0,68	0,90	2,75	1,392	3,604
Глина тугопластичная	0,25	42,6	0,74	0,92	2,75	1,412	3,662
Глина мягкопластичная	0,34	46,9	0,88	1	2,69	1,714	3,928
Суглинок твердый	0,13	33,2	0,50	0,71	2,72	1,331	3,755
Суглинок полутвердый	0,13	34,4	0,52	0,68	2,72	1,294	3,554
Суглинок тугопластичный	0,20	38,7	0,63	0,86	2,72	1,426	3,039
Суглинок мягкопластичный	0,23	43,5	0,77	0,81	2,72	1,375	3,365
Суглинок текучепластичный	0,25	41,4	0,71	0,97	2,72	1,323	3,190
Песок пылеватый плотный влажный	0,14	33,3	0,51	0,78	2,67	1,734	3,140
Песок мелкий	0,16	39,3	0,66	0,70	0,67	1,806	3,292

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ «НЕЙТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ГРУНТА» ОТ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

3.1 Цель и обоснование исследований

Цель работы:

- выполнить анализ геологических элементов (грунтов) города Омска;
- определить значения и динамику температур грунта в разведочных скважинах для применения фактических данных при расчете грунтового зонда тепло-трансформатора.

Нейтральная зона грунта – максимальная глубина влияния солнечной радиации, после прохождения которой, температура грунтового массива не уменьшается [60].

При использовании низкопотенциальной возобновляемой энергии грунта с помощью геотермальных трансформаторов для теплоснабжения и холодоснабжения зданий, сооружений наиболее важной частью системы является грунтовой зонд (теплообменник). На основании анализа эксплуатации различных видов грунтовых зондов, наиболее оптимальным при использовании по теплотехническим характеристикам являются вертикальные и наклонные скважины, в трубах которых циркулирует этиленгликоль (незамерзающая жидкость).

Существенным преимуществом термальных источников является воссоздаваемость, высокое региональное распределение, экологичность и простота производства тепловой/электрического ресурса, в сравнении с традиционными системами теплоснабжения.

Теплопроводность грунтов существенно возрастает в случае высокой влажности почвы и достигает максимальных значений при полном заполнении всех пор водой тем самым вытесняя газообразные компоненты воздуха (кислород, углекислый газ и прочие) имеющие низкий коэффициент теплопроводности.

На основании результатов исследований института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН [112], составлены и опубликованы средние значения температуры земной коры до 5 км (таблица 3.1), которые позволяют получить предварительные данные для выполнения изыскательских работ.

Таблица 3.1 – Средние значения температуры земной коры (до 5 км) основных геологических структур Сибири

№ п/п	Геологическая структура	Температура (° С) на глубинах, км				
		0,5	1	2	3	5
Платформы						
1	Западно-Сибирская	13	29	60	92	140
2	Сибирская	8	15	30	47	82
Складчатые области						
4	Алтае-Саянская	15	25	47	70	100
5	Забайкальская	11	22	42	62	100
6	Верхояно-Колымская	5	27	57	81	130
7	Байкальская рифтовая зона (без байкала)	16	27	50	73	115
8	Байкальская впадина	20	75	75	110	150

Отсутствие материалов по тепловому режиму грунтов до глубины 0,5 км, необходимых для проектирования грунтовых зондов, подтверждает необходимость выполнения исследовательских работ теплового режима земли.

3.2 Выбор оборудования, приборов и программного обеспечения

Комплект для выполнения измерений температуры в скважинах представляет собой гирлянду электрических датчиков температуры с устройством записи и передачи данных через радиопередачу на переходник USB/PM с антенной работающий совместно со специализированным программным обеспечением на компьютере. Для выполнения исследования использовался комплект ЛЦД–1/100–PM с термокосой и антенной. Сертификат соответствия на использованное оборудования, а также подтверждение действия сертификата соответствия представлено в приложении №2, 15, общий вид показан на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид комплекта ЛЦД–1/100–РМ с термокосой и антенной
 1 – ЛЦД–1/100–РМ; 2 – датчиков температуры МЦДТ 0922; 3 – термокоса; 4 – схема установки термодатчиков; 5 – переходник USB/РМ с антенной; 6 – антенна.

Область применения комплекта исследований:

- геотехнический мониторинг;
- метеорология;
- строительство;
- энергетика;
- инженерно-геологические изыскания и прочее.

Комплект ЛЦД–1/100–РМ с термокосой и антенной состоит:

1. Логгер цифровых датчиков (ЛЦД–1/100–РМ) (далее логгер) – предназначен для автономного считывания результатов измерения температуры с датчиков температуры многозонных цифровых МЦДТ (термокоса) с заданной периодичностью.



Рисунок 3.2 – Общий вид логгера цифровых датчиков ЛЦД–1/100–РМ

Логгер выпущен в следующем исполнении:

– ЛЦД–1/100–РМ–сохраняет результаты измерения температуры в энергонезависимой памяти, передает данные на ПК посредством радиоканала ЛЦД–1/100–РМ относится к радиоэлектронным средствам (РЭС), не подлежащим регистрации (полоса радиочастот 433,075-434,79 МГц, мощность передатчика не более 10 мВт).

Тип прибора – логгер температуры датчиков многозонных цифровых.

Таблица 3.2 – Технические характеристики ЛЦД–1/100–РМ

№	Технические характеристики	Показатели
1	Габаритные размеры, мм, не более (без соединительных кабелей):	Ø25 · 205
2	Масса, кг, не более	0,35
3	Напряжение питания постоянного тока, В	3,6 (2,8...3,7)
4	Ток потребления в режиме ожидания, мА, не более	0,005
5	Период проведения измерений (настраиваемый), ч	От 1 до 99
6	Количество датчиков в термокосе	От 1 до 100
7	Максимальная длина термокосы, м	100
8	Время непрерывной работы в нормальных условиях без замены элемента питания, лет, не менее	3
9	Запись результатов измерений, интерфейс	Энергонезависимая память, радиоканал
10	Устойчивость к вибрации [49]	N1
11	Степень защиты от пыли и воды [50]	IP65
12	Средняя наработка до отказа, ч	35000
13	Средний срок службы, лет	7

2. Термокоса (гирлянда температурных датчиков).

Гирлянда температурных датчиков – сборка электрических датчиков температуры или ртутных «заленивленных» термометров, закрепленных на несущем шнуре в соответствии с глубиной размещения точек измерения [53].

Предназначена для полевого определения температуры грунтов с помощью датчиков температуры, установленных заводом изготовителем с заданным шагом. Является одним из основных составляющих комплекта ЛЦД-1/100-РМ. Шаг термодатчиков устанавливается Заказчиком на этапе изготовления комплекта. Общий вид конструкции термокосы представлен на рисунке 3.3.

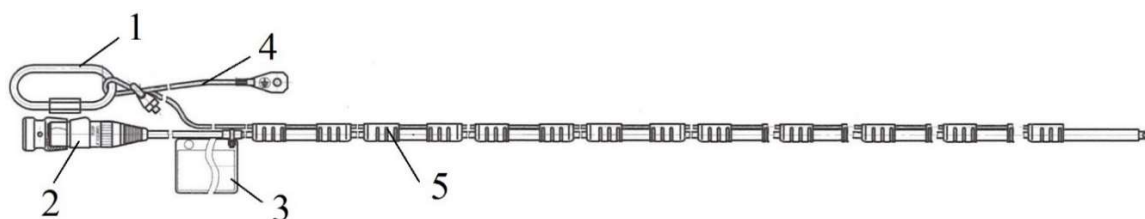


Рисунок 3.3 – Общий вид конструкции термокосы: 1 – карабин; 2 – разъем подключения термокосы к логгеру; 3 – Паспорт устройства термокосы; 4 – армирующий элемент; 5 – датчиков температуры МЦДТ 0922.

В существующей термокосу смонтированы 10 датчиков температуры, шаг которых представлен в паспорте устройства (см. рисунок 3.4).

3. Датчик температуры МЦДТ 0922 – предназначен для измерения температуры в заданной точке объекта, для полевого определения температуры грунтов [51], где требуется получить информацию о конкретных данных температуры мерзлых, промерзающих, протаивающих грунтов.

Область применения – объекты теплоэнергетики, машиностроения, нефтяная промышленность и другие отрасли промышленности.

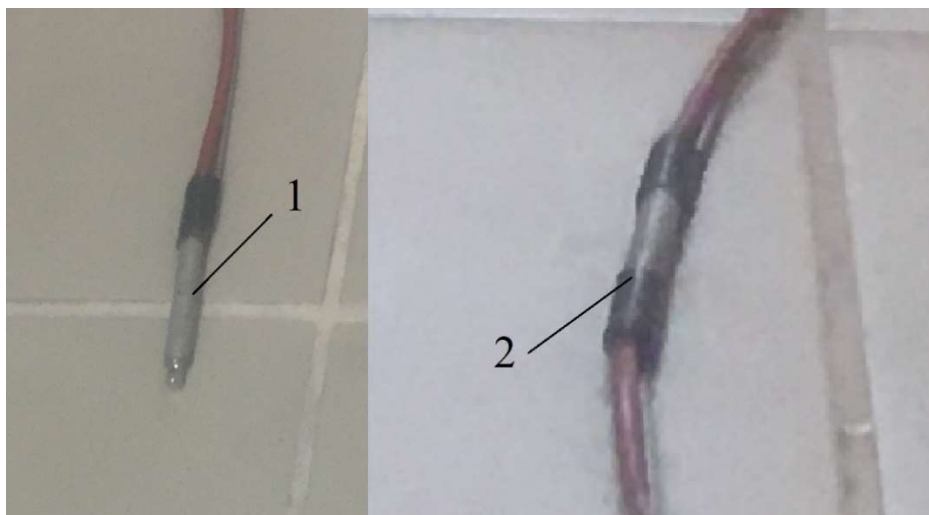


Рисунок 3.4 – Общий вид датчиков температуры МЦДТ 0922: 1 – установка МЦДТ 0922 в конце термокосы; 2 – установка МЦДТ 0922 по длине термокосы.

Таблица 3.3 – Технические характеристики датчиков температуры МЦДТ 0922

№	Технические характеристики	Показатели
1	Рабочий диапазон измеряемых температур, °С	От –50 до +100
2	Степень защиты от воздействия пыли и воды [52]	IP68
3	Предел абсолютной неопределенности, °С: - от -50 до -30 включ. - св. -30 до +30 включ. - св. +30 до +100 включ. Примечание: - t –абсолютное значение температуры, °С, без учета знака	$\pm[0,1+0,014(t -30)]$ $\pm 0,1$ $\pm[0,1+0,014(t -30)]$
4	Устойчивость к вибрации	N2
5	Средняя наработка до отказа, ч, не менее	80 000
6	Средний срок службы, лет, не менее	10

4. Антенна логгера

Предназначена для передачи сигнала с логгера на USB/PM с антенной.



Рисунок 3.5 – Общий вид антенны логгера

5. Карт-ридер/PM к порту USB ПК с антенной

Предназначена для приема и записи данных с логгера на ПК через программное обеспечение.



Рисунок 3.6 – Общий вид карт-ридера/PM с антенной к порту USB ПК

6. Паспорт устройства термокосы

Изготавливается заводом-изготовителем, необходимо для информирования расположения смонтированных датчиков температуры в термокосу.

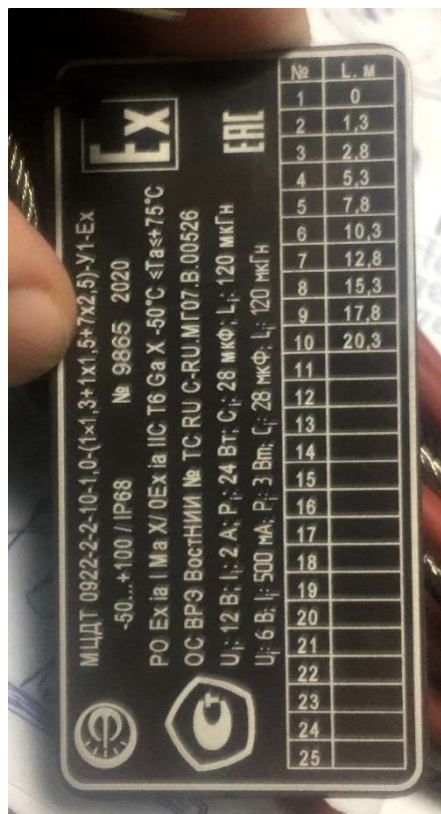


Рисунок 3.7 – Общий вид паспорта устройства термокосы

7. RadioMania 1.0 – программное обеспечение(приложение) для поиска логгеров, сбора данных, сохранения данных на жесткий диск ПК.

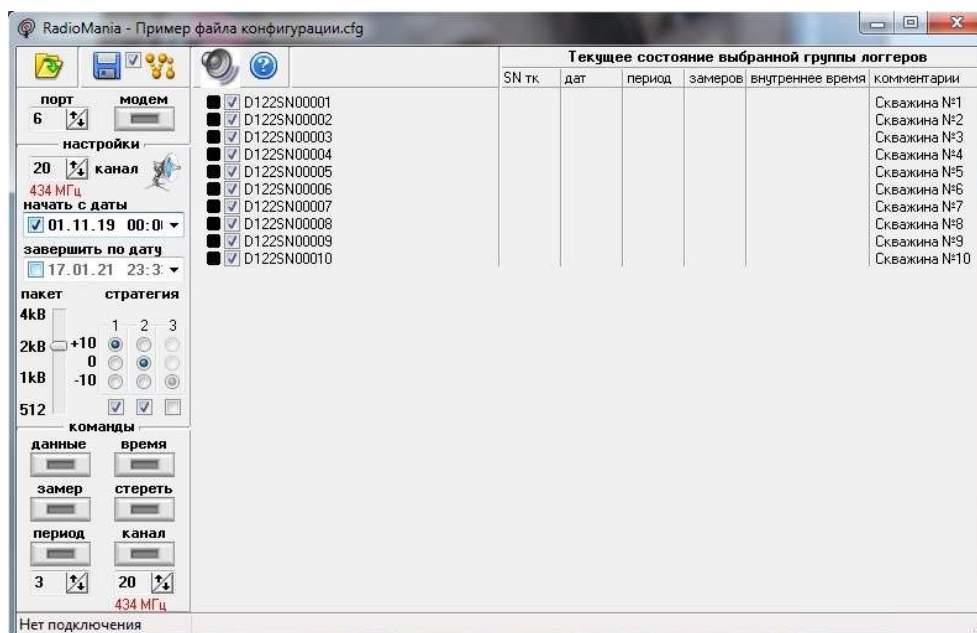


Рисунок 3.8 – Общий вид ПО RadioMania 1.0

8. Viper 3.0.0 – программное обеспечение (приложение) для обработки результатов данных с логгеров, сохранённых на жесткий диск ПК.

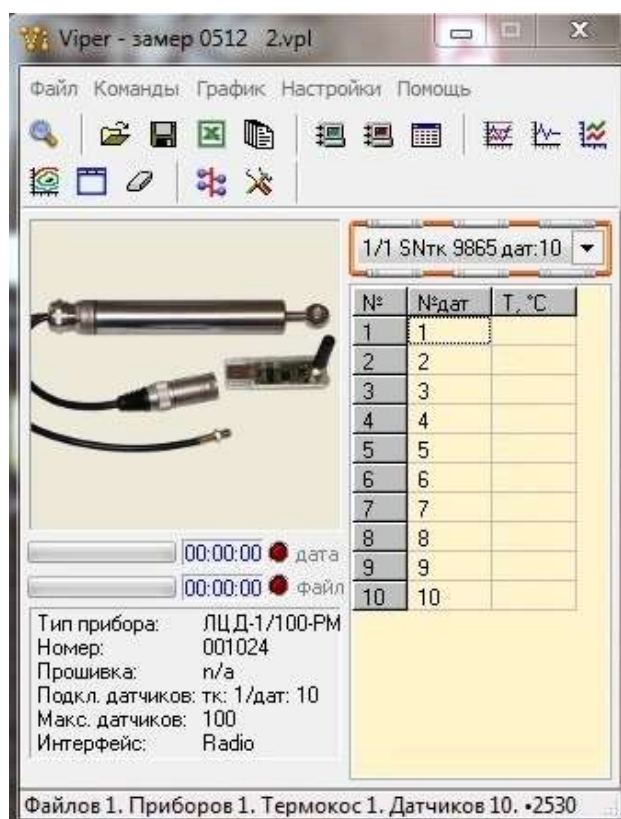


Рисунок 3.9 – Общий вид ПО Viper 3.0.0

3.3 Результаты термометрических работ

Термометрическая скважина – специально оборудованная скважина, предназначенная для измерения температуры грунта гирляндой температурных датчиков [53].

Для определения температуры грунта, выполнено устройство трех термоскважин, характеристика которых представлена в таблице 3.4, план–схема расположения на рисунке 3.10.

Таблица 3.4 – Характеристики исследуемых термометрических скважин

№ скв.	Место расположения термометрических скважин	Диаметр скважины, м	Глубина скважины, м	Глубина установленных термокос, м
1	Омская область, Омский район, с. Надеждино, ул. Дружбы, 2	0,165	32	20
2	г.Омск, Сибирский садовод 1, ул. 3 Аллея, уч.38-39	0,165	35	20
3	г. Омск, ул. 4 Енисейская, 27	0,165	35	20

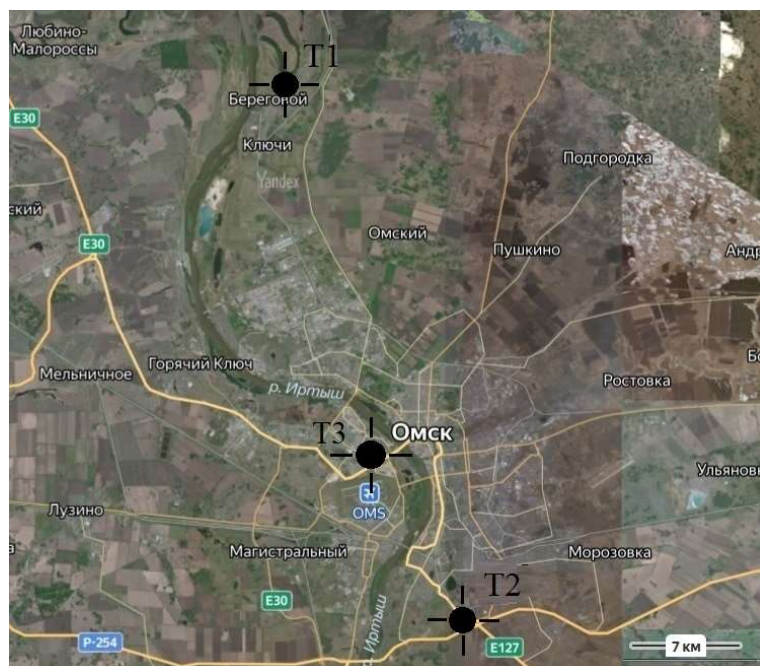


Рисунок 3.10 – План-схема разбивки термометрических скважин

Термоскважины размещены в существующие скважины выполненные при инженерно-геологических изысканиях, с последующим монтажом тонкостенных обсадных полимерных труб и установкой термокосы. Пример устройства термоскважин с термокосой показано на рисунке 3.11, данные по расположению датчиков температуры (ДТ) относительно отметки земли представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Отметки расположения датчиков температуры относительно отметки земли

№ датчика температуры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отметка датчика температуры в скважине №1, относительно отметки земли, м	+0,3	-1,0	-2,5	-5,0	-7,5	-10,0	-12,5	-15,0	-17,5	-20,0
Отметка датчика температуры в скважине №2, относительно отметки земли, м	+0,3	-1,0	-2,5	-5,0	-7,5	-10,0	-12,5	-15,0	-17,5	-20,0
Отметка датчика температуры в скважине №3, относительно отметки земли, м	+0,3	-1,0	-2,5	-5,0	-7,5	-10,0	-12,5	-15,0	-17,5	-20,0

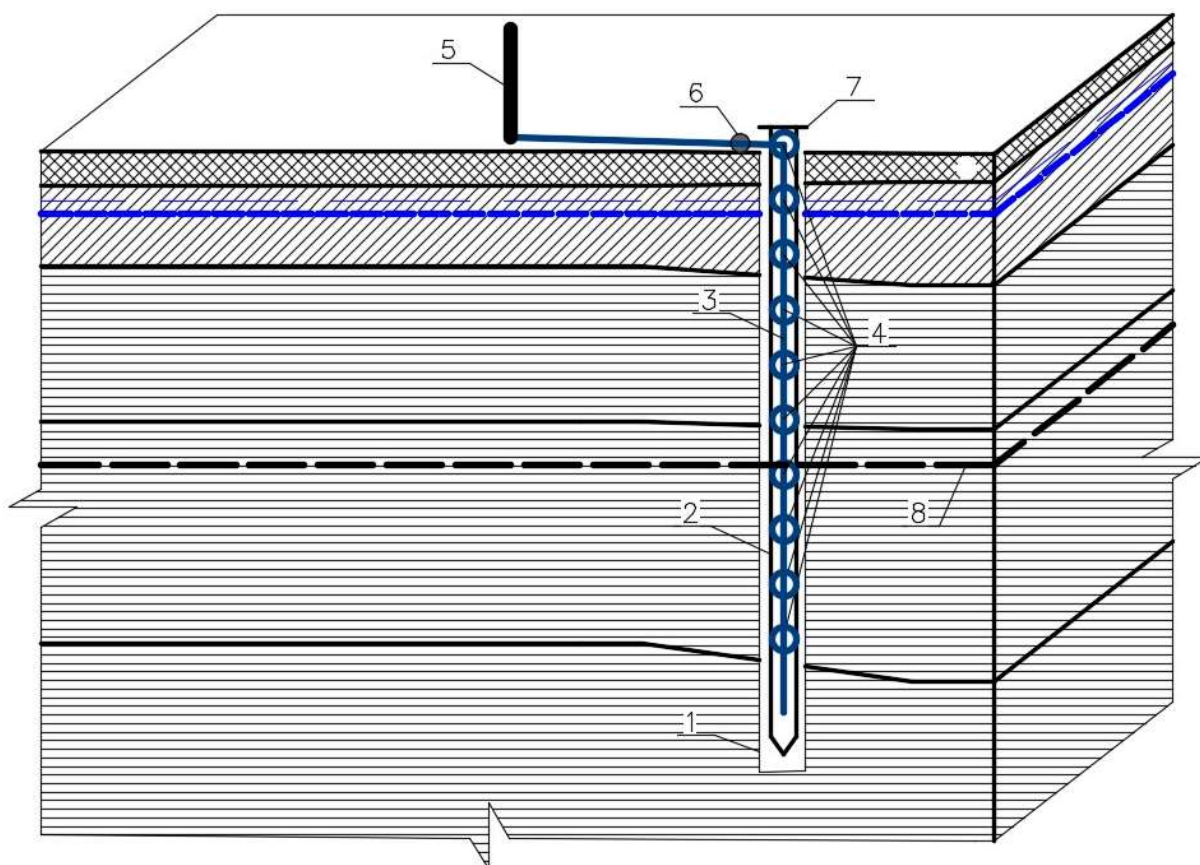


Рисунок 3.11 – План-схема установки комплекта ЛЦД-1/100-PM с термокосой и антенной датчиков температуры в термоскважину скважину: 1 – термоскважина; 2 – обсадная труба; 3 – термокоса; 4 – датчик температуры; 5 – антенна логгера; 6 – логгер; 7 – антивандальная крышка; 8 – нейтральная зона грунта.

Для фиксации изменений температуры воздуха на уровне отметки земли установлен датчик температуры №1, следующие датчики температуры установлены в соответствии паспорта устройства термокосы (см. рисунок 3.7). Режим записи показаний термодатчиков установлен с периодичностью регистрации 6 часов. Верхний слой обсадных труб был утеплен базальтовым утеплителем марки «Технониколь», плотностью 75 кг/м³.

Проверка работы устройства выполнена через 7 дней после выполнения монтажных работ. Загрузка информации данных с ЛЦД-1/100-PM на ПК осуществлялась через карт-ридера/PM с антенной через USB порт ПК и программного обеспечения RadioMania 1.0, Viper 3.0.0. Показания архивных данных записаны на компьютер, при открытии программой Viper 3.0.0 были подтверждены показаниями графиков температурных режимов.

Для исключения возможной остановки работы установленного оборудования, с периодичностью 1 месяц, выполнялись контрольные проверки и записи

данных. Окончательные данные записаны за полный период выполнения работ – 01.11.2020 по 27.02.2021. Период выполнения работ обоснован фиксированием температурного режима массива грунта при наиболее холодной пятидневке температуры воздуха.

3.4 Результаты исследований "Нейтральной зоны грунта" от влияния солнечной радиации

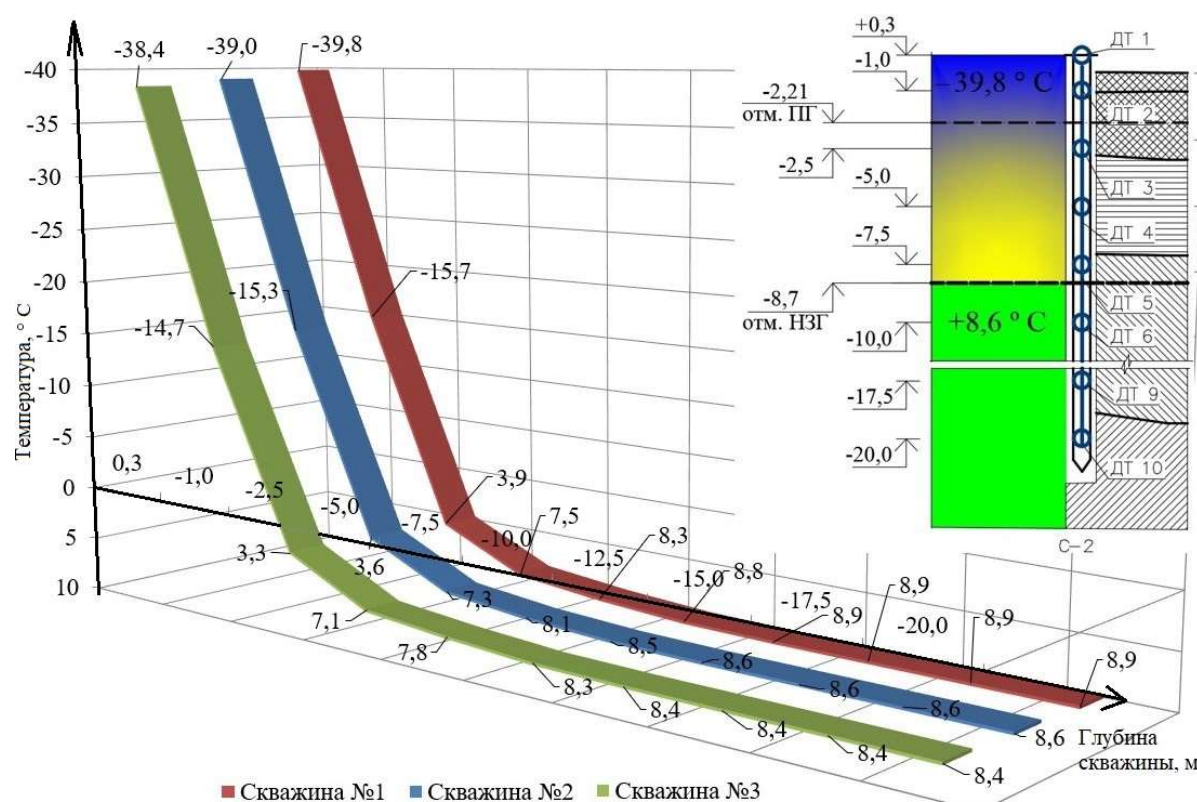
На основании записанных и апробированных результатов исследуемых территорий, при помощи программы Viper 3.0.0., установленной на ПК, за зимний сезон 2020–2021, 03 января зафиксирована абсолютная минимальная температура воздуха $-39,76^{\circ}\text{C}$ в районе скважины №2. Определенные режимы температуры воздуха датчиков №1, в скважинах 1–3 на отметках +0,3 м от уровня земли, при наиболее холодной пятидневке, оформлены и представлены в таблице 3.6, графические данные температурного режима грунтового массива, при абсолютно минимальной температуре воздуха по датчикам температуры 1–10 представлен на рисунке 3.12.

Таблица 3.6 – Результаты температурного режима датчиков температуры №1 в скважинах 1-3 на отметках +0,3 м от уровня земли

№ скв.	№ датчика температуры	Дата замера	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Время замера, ч.–мин.	Абсолютная неопределенность не более, $^{\circ}\text{C}$
1	1.1	01.01.2021	$-35,18$	03 – 00	$\pm 0,17$
			$-21,35$	15 – 00	$\pm 0,10$
		02.01.2021	$-36,12$	03 – 00	$\pm 0,19$
			$-22,42$	15 – 00	$\pm 0,10$
		03.01.2021	$-39,02$	03 – 00	$\pm 0,23$
			$-25,81$	15 – 00	$\pm 0,10$
		04.01.2021	$-34,76$	03 – 00	$\pm 0,17$
			$-27,07$	15 – 00	$\pm 0,10$
		05.01.2021	$-27,88$	03 – 00	$\pm 0,10$
			$-19,93$	15 – 00	$\pm 0,10$

Продолжение таблицы 3.6

2	1.2	01.01.2021	- 35,81	03 – 00	±0,18
			- 21,97	15 – 00	±0,10
		02.01.2021	- 36,89	03 – 00	±0,20
			- 22,04	15 – 00	±0,10
		03.01.2021	- 39,76	03 – 00	±0,24
			- 26,34	15 – 00	±0,10
3	1.3	04.01.2021	- 35,42	03 – 00	±0,18
			- 27,68	15 – 00	±0,10
		05.01.2021	- 28,61	03 – 00	±0,10
			- 20,72	15 – 00	±0,10
		01.01.2021	- 34,26	03 – 00	±0,16
			- 20,82	15 – 00	±0,10
		02.01.2021	- 35,18	03 – 00	±0,17
			- 21,04	15 – 00	±0,10
		03.01.2021	- 38,41	03 – 00	±0,22
			- 24,92	15 – 00	±0,10
		04.01.2021	- 33,78	03 – 00	±0,15
			- 26,37	15 – 00	±0,10
		05.01.2021	- 27,13	03 – 00	±0,10
			- 19,16	15 – 00	±0,10



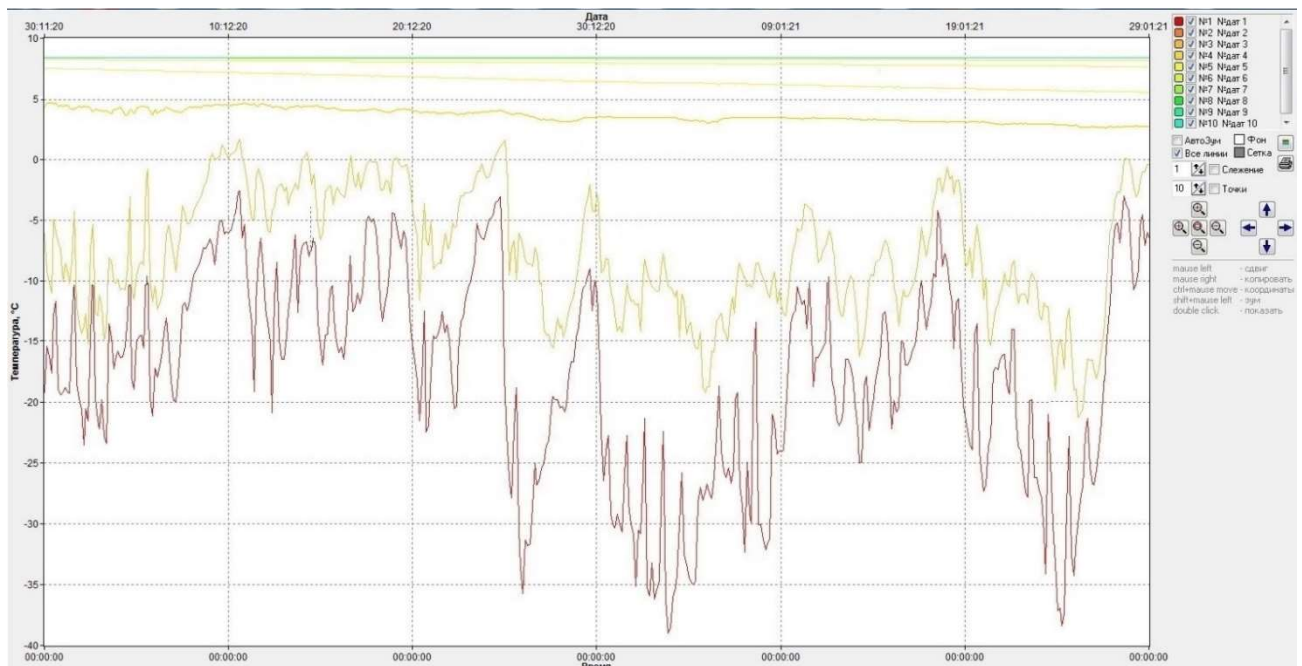


Рисунок 3.13 – График температурного режима грунтового массива скважины №1 с 01.11.2020 по 27.02.2021

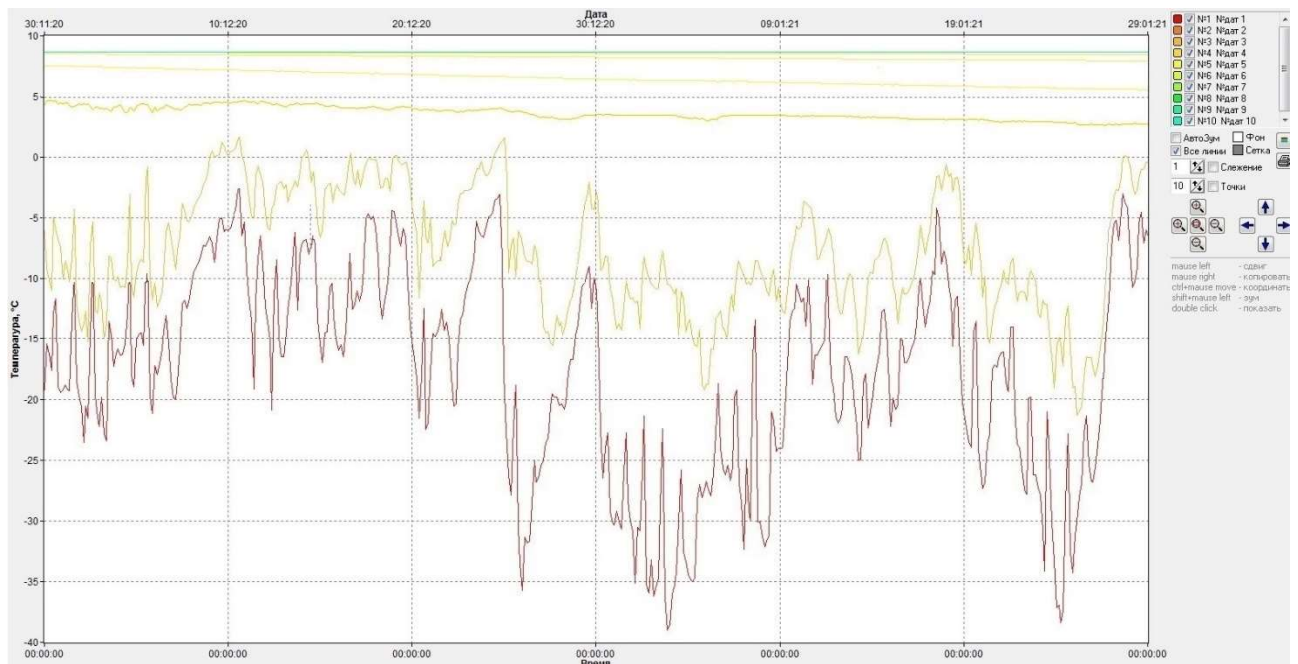


Рисунок 3.14 – График температурного режима грунтового массива скважины №2 с 01.11.2020 по 27.02.2021

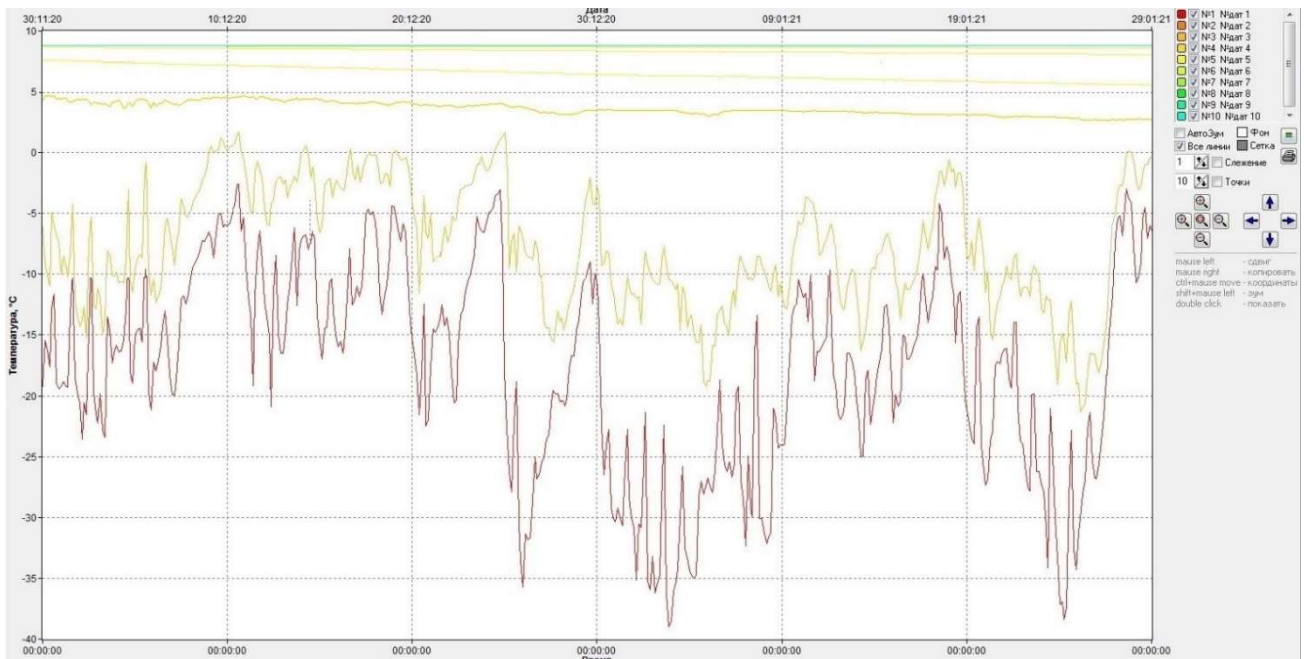


Рисунок 3.15 – График температурного режима грунтового массива скважины №3 с 01.11.2020 по 27.02.2021

Выводы:

На основании апробации выполненных исследовательских работ грунтового массива, при помощи комплекта ЛЦД–1/100–РМ с термокосой, антенной и программного обеспечения – RadioMania1.0, Viper 3.0.0, установлено:

1. Средняя температура грунтового массива для г. Омска составляет – $+8,6^{\circ}\text{C} \pm 0,23^{\circ}\text{C}$;
2. Максимальная глубина влияния солнечной радиации на грунтовой массив, являющейся «Нейтральной зоной грунта» устанавливается на отметке -8,7 м от уровня земли.

ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОНДОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ТЕПЛОТРАНСФОРМАТОРА

4.1 Математическая модель определения эффективной глубины одно-скважинного коаксиального геотермального коллектора

Коаксиальность – это соосное положение тел в пространстве (имеют общую ось вращения), при котором один из элементов расположен внутри другого.

В такой схеме наружная труба используется в виде нагревающего контура, внутренняя – для передачи нагретого источника низкопотенциальной тепловой энергии в контур системы отопления. После охлаждения пропиленгликоль по кольцевой схеме уходит в наружный контур геотермальной скважины. В рассматриваемой системе нагретый пропиленгликоль во внутренней трубе при движении будет остывать от наружного нагреваемого контура. Для уменьшения снижения нагретого источника необходимо на этапе монтажных работ выполнить теплоизоляцию внутренней трубы.

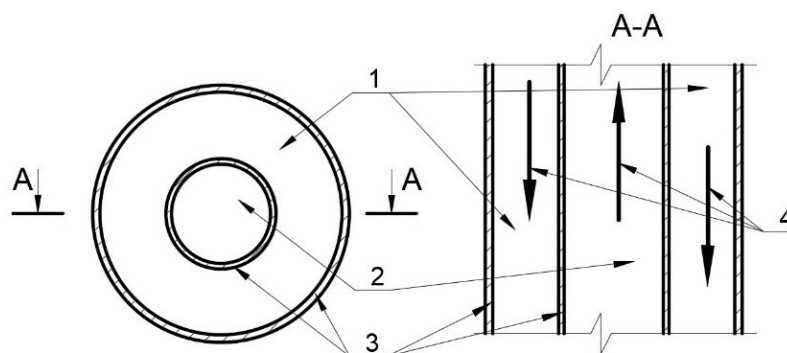


Рисунок 4.1 – Схема поперечного разреза коаксиального коллектора:

1 – нагреваемый пропиленгликоль в низкопотенциальном тепловом контуре грунта; 2 – нагретый пропиленгликоль; 3 – коллекторные трубы; 4 – направление движения пропиленгликоля

При движении пропиленгликоля в трубе ее нагрев за счет теплообмена с низкопотенциальным тепловым полем грунта в значительной степени зависит от распределения температуры почвы по глубине скважины и от скорости движения пропиленгликоля в трубе.

Для получения математической модели нагрева пропиленгликоля воспользуемся решением уравнения теплопроводности для нагрева точек полупространства от сосредоточенного источника тепловой энергии, расположенной на поверхности [9]:

$$T(R, t) = \frac{Q}{c\gamma(4\pi at)^{\frac{3}{2}}} e^{\frac{-R^2}{4at}} + T_0, \quad (4.1)$$

где R – расстояние от источника тепла до произвольной точки тела; Q – количество тепла, сосредоточенное в источнике энергии; t – время с начала процесса нагрева; T_0 – начальная температура нагреваемой среды (пропиленгликоля).

Коэффициент температуропроводности a (м²/с) представляет собой плотность теплового потока при единичном температурном градиенте, отнесенную к плотности вещества и к его теплоемкости, соответственно показатель пропорционален скорости изменения температуры или скорости распространения изотермической поверхности в теле:

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma}, \quad (4.2)$$

где λ – теплопроводность; c – теплоемкость; γ – плотность среды.

При нагреве пропиленгликоля, движущегося в цилиндрической трубе, задача будет осесимметричной и ее можно свести к нагреву пластины (рисунок 4.2) с распределенным по ее грани источником тепловой энергии. Эту зависимость можно аппроксимировать формулой:

$$T_{гр} = (T_{гр0} - T_{скв})e^{-Bz^2} + T_{скв}, \quad (4.3)$$

где $T_{гр0}$ – температура грунта в точке (глубине) промерзания; $T_{скв}$ – температура грунта на дне скважины.

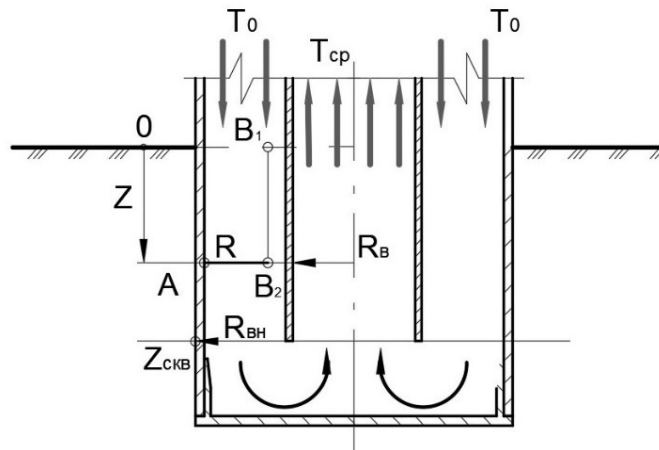


Рисунок 4.2 – Схема движения пропиленгликоля в скважине: T_0 – начальная температура нагреваемой среды (пропиленгликоля); T_{cp} – температура нагретого пропиленгликоля; Z – расстояние от точки A до поверхности грунта; $Z_{скв}$ – глубина скважины; R – расстояние от источника тепла до произвольной точки тела; $R_{вн}$ – внутренний радиус наружной трубы; $R_{в}$ – внутренний радиус внутренней трубы; B_1 – начальная точка нагреваемого элемента; B_2 – конечная точка элемента через пройденное время t .

Температуру трубы в точке A принимаем равной температуре грунта $T_{гр}$. в этой точке, которая зависит от расстояния Z .

Качественный график зависимости распределения рабочей жидкости по глубине, представлен на рисунок 4.3.

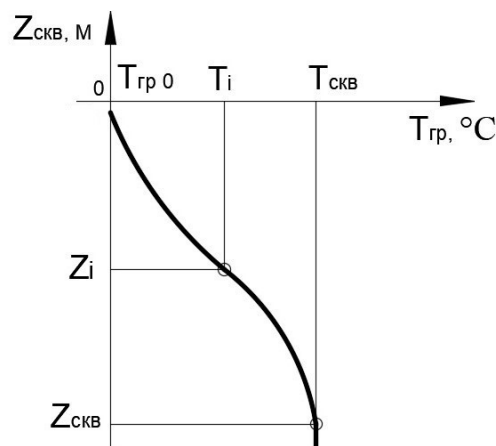


Рисунок 4.3 – График распределения температуры грунта по глубине: $T_{гр}$ – температура грунта; $T_{скв}$ – температура грунта на дне скважины; $T_{гро}$ – температура грунта в точке (глубине) промерзания; Z – глубина грунта; $Z_{скв}$ – глубина скважины; Z_i – глубина скважины в точке i ; T_i – температура рабочей жидкости на глубине в точке i

Значения температуры по глубине грунта определяются непосредственными замерами при выполнении разведочной скважины.

Формула (4.3) является аппроксимирующей для графика, представленного на

рисунке 4.3. Все факторы, влияющие на распределение температуры учтены, так как произведены инструментальные замеры во время геологической разведки.

Для определения коэффициента « b » в формуле (4.3) замеряем температуру грунта $T_{\text{гр}}^*$ на глубине Z^* промерзания грунта:

$$b = \frac{1}{(z^*)^2} \ln \left(\frac{T_{20} - T_{\text{СК}}}{T_{\text{гр}}^* - T_{\text{СК}}} \right), \quad (4.4)$$

Нагрев пропиленгликоля в точке B_2 сечения А–А происходит по закону

$$T(R, t) = \frac{T_{\text{гр}}}{(4\pi at)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{R^2}{4at}} + T_0, \quad (4.5)$$

где T_0 – начальная температура пропиленгликоля; в точку B_2 элемент пропиленгликоля, расположенный в точке B_1 , попадает через время;

$$t = \frac{Z_{B2}}{v}, \quad (4.6)$$

где v – скорость движения пропиленгликоля в трубе скважины.

Подставляя t в формулу (4.5), получаем формулу для расчета температуры в произвольной точке $B_2(R, Z)$ потока пропиленгликоля в трубе:

$$T(R, Z) = \frac{T_{\text{гр}}(Z)}{\left(\frac{4\pi az}{v}\right)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{R^2 v}{4az}} + T_0, \quad (4.7)$$

Формула (4.5) позволяет исследовать зависимость температуры теплоносителя, поступающего в теплообменник, от глубины скважины и от скорости движения потока пропиленгликоля в трубе. Следует учесть, что распределение температуры в сечении 1–1, рисунка 4.2, трубы скважины будет неравномерным, поэтому во внутреннюю трубу будет поступать пропиленгликоль с температурой средней по сечению 2–2 в точке $Z-Z_{\text{СКВ}}$

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{гр}}(Z_{\text{СКВ}})}{(R_{\text{ВН}} - R_{\text{В}}) \left(\frac{4\pi a Z_{\text{СКВ}}}{v}\right)^{\frac{3}{2}}} \int_0^{R_{\text{ВН}} - R_{\text{В}}} e^{-\frac{R^2 v}{4a Z_{\text{СКВ}}}} + T_0, \quad (4.8)$$

Вводим замену:

$$R \sqrt{\frac{v}{2az_{\text{СКВ}}}} = x, \quad (4.9)$$

Тогда формула (4.8) будет иметь вид:

$$dR = dx \sqrt{\frac{2az_{\text{СКВ}}}{v}}, \quad (4.10)$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{гр}}(z_{\text{СКВ}})}{(R_{\text{ВН}} - R_{\text{В}}) \left(\frac{2z_{\text{СКВ}}}{v} \right)^2 \sqrt{8\pi^3}} \int_0^{(R_{\text{ВН}} - R_{\text{В}}) \sqrt{\frac{v}{2az_{\text{СКВ}}}}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx + T_0, \quad (4.11)$$

При неизменных значениях параметров $R_{\text{вн}}$; $R_{\text{в}}$; v ; T_0 ; $T_{\text{ср}}$ произведем расчет зависимости температуры пропиленгликоля от глубины по формуле (4.11). Температура промерзания грунта принята $2,2^\circ\text{C}$, пропиленгликоля от глубины скважины приведена на рисунок 4.4. Анализ данного графика позволил определить эффективную глубину скважины.

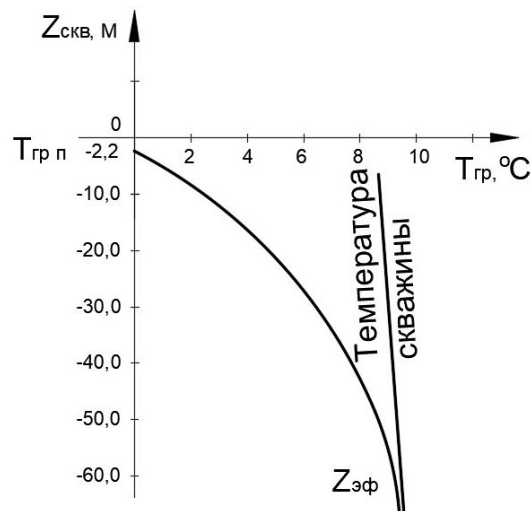


Рисунок 4.4 – График зависимости средней температуры пропиленгликоля от глубины скважины: $T_{\text{гр}}$ – температура грунта; $T_{\text{ср.л}}$ – температура промерзания грунта; $Z_{\text{СКВ}}$ – глубина скважины; $Z_{\text{эф}}$ – эффективная глубина скважины.

Таким образом предложенная математическая модель позволяет расчетом определять эффективную глубину односкважинного коаксиального геотермального коллектора ($Z_{\text{эф}}$), при которой увеличение температуры пропиленгликоля в

практическом отношении не меняется, а дальнейшее увеличение глубины зонда экономически неэффективно. Для возможности массового применения на проектируемых (реконструируемых) объектах капитального строительства, рекомендуется учитывать поправочные коэффициенты в зависимости от основных критериев здания или сооружения, климатологии района [10], а так же характеристик грунта (температуры, влажности, теплоемкости и других данных).

4.2 Разработка методики определения расстояния между скважинами с грунтовыми теплообменниками в системе сбора низкопотенциальной энергии грунта

Разбивка скважин должна выполняться без пересечения температурных полей образуемых при эксплуатации геотермальных зондов, для исключения вымораживания грунтового массива (пример температурного поля вымораживания грунта между вертикальными зондами в наиболее холодный период, представлен на рисунке 4.5).

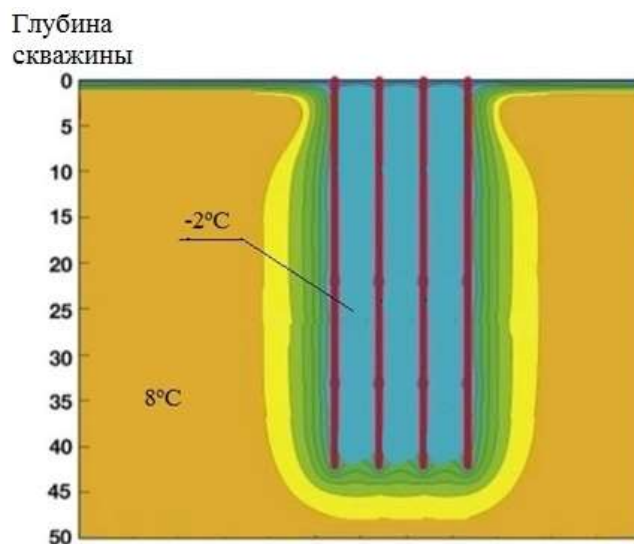


Рисунок 4.5 – Пример план-схемы температурного поля вымораживания грунта между вертикальными зондами в наиболее холодный период

Достоверное определение минимального расстояния скважин позволяет определить необходимую площадь территории под проектируемые грунтовые теплообменники, что обеспечивает надежную работу теплотрансформаторов,

исключая вымораживания грунта между скважинами в наиболее холодный период эксплуатации зданий (сооружений).

Объем грунтового массива необходимый для обеспечения требуемой нагрузки на систему теплоснабжения здания определяется на основании наличия следующих данных:

- физико–механические и теплофизические характеристики грунтов;
- свойства материала труб теплообменника [8];
- характеристика теплоносителя;
- количество энергии, которое грунтовой теплообменник отбирает из грунтового массива;
- температура на входе в грунтовой теплообменник;
- технические характеристики теплотрансформатора.

Для выполнения расчета расстояния между скважинами рассматриваем грунтовой массив окружающий скважину как цилиндр (рисунок 4.6), тогда радиус цилиндра будет являться определяемым значением.

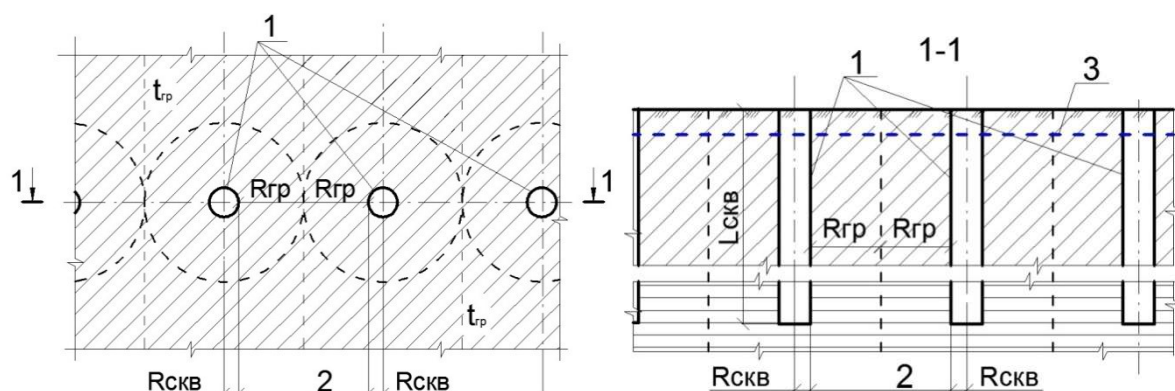


Рисунок 4.6 – План-схема поперечного разреза для расчета расстояния между скважинами системы сбора низкопотенциальной энергии грунта: 1 – геотермальные скважины; 2 – грунтовой массив; 3 – нейтральная зона грунта; $R_{скв}$ – радиус скважины; $R_{гр}$ – радиус грунтового массива окружающий скважину; $L_{скв}$ – длина геотермальной скважины; $t_{гр}$ – температура грунта.

Определяем количество теплоты, извлекаемого одной скважиной за отопительный период, Дж:

$$Q_{\text{треб.}} = 86400 q_{\text{скв.}} L_{\text{скв.}} \cdot z_{\text{от.п.}}, \quad (4.12)$$

где $q_{скв.}$ – средний тепловой поток с одного метра скважины, Вт/м;

$L_{скв.}$ – глубина скважины, м;

$z_{отп.}$ – продолжительность отопительного периода, принимаемая по [10] в соответствии с [48], сут./год.

Определяем объем грунта, способный покрыть требуемую нагрузку при эксплуатации одной скважины, $V_{гр.}$, м³:

$$V_{гр.} = \frac{Q_{треб.}}{c_{гр.} \rho_{гр.} \left[t_{гр.} - \left(\frac{t_{вх.} + t_{вых.}}{2} \right) \right]}, \quad (4.13)$$

где $c_{гр.}$ – удельная теплоемкость грунтового массива, Дж/кг·К;

$\rho_{гр.}$ – плотность грунтового массива, кг/м³;

$t_{гр.}$ – температура грунтового массива, °С;

$t_{вх.}$ и $t_{вых.}$ – температура входа и выхода рабочей жидкости в грунтовом теплообменнике, °С.

Расстояние от центра скважины с грунтовым теплообменником до границы эксплуатируемого массива грунта ($r_{гр.}$, м) определяем по формуле:

$$r_{гр.} = \sqrt{\frac{V_{гр.}}{\pi L_{скв.}}}, \quad (4.14)$$

Внутренняя температура теплообменника (зонда) является переменной вследствие нагревания хладагента по глубине скважины. Таким образом, необходимо учитывать $R_{нар.}$ (наружный радиус зонда) увеличив расстояние между скважинами. В соответствии с предварительной методикой расчета формулу (4.14) можно преобразовать используя (4.12) и (4.13). Получим общую формулу для определения расстояния между геотермальными скважинами ($R_{РГС}$):

$$R_{РГС} = 2 \sqrt{\frac{86400 q_{скв.} z_{отп.}}{\pi c_{гр.} \rho_{гр.} \left[t_{гр.} - \left(\frac{t_{вх.} + t_{вых.}}{2} \right) \right]}} + 2R_{скв.}, \quad (4.15)$$

где $R_{\text{скв}}$ – радиус скважины, м;

Таким образом, получена формула для определения расстояния между скважинами, которая учитывает теплофизические параметры грунта, величину теплового потока, температурный перепад между массивом грунта и теплоносителем, в зависимости от продолжительности отопительного периода для конкретного региона.

Полученные значения расстояния между скважинами характерны для эксплуатации при постоянном значении количества теплоты, извлекаемой в течение отопительного периода, т.е. исключается возможная неравномерность в работе скважины, что гарантирует сохранение температуры в грунтовом массиве.

Таким образом, по результатам выполнения лабораторных исследований грунтов, выбранных по разведочным скважинам г. Омска, методики расчета определения минимального расстояния между скважинами с грунтовыми зондами. Выполненные расчеты при учете различных комбинаций теплофизических свойств грунтов позволили составить таблицу с рекомендуемыми расстояниями между скважинами. Результаты расчетов определения расстояния между грунтовыми теплообменниками приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Рекомендуемые расстояния между грунтовыми зондами для г. Омска

Виды грунтов	Ср·103, кДж/м³К	$q_{\text{скв.}}, \text{Вт/м}$						
		40	50	60	70	80	90	100
Среднетеплоемкие	3,1-3,4	6 (м)	7 (м)	7 (м)	8 (м)	8 (м)	9 (м)	10 (м)
	3,5-3,8	6 (м)	7 (м)	7 (м)	8 (м)	8 (м)	9 (м)	9 (м)
	3,9-4,2	6 (м)	6 (м)	7 (м)	7 (м)	8 (м)	8 (м)	9 (м)

Результаты выполненных исследований подтвердили наличие высокой погрешности в выполняемых проектных, монтажных работах, при устройстве грунтовых зондов на территории Омского района Омской области. Апробированные грунты являются среднетеплоемкими и усредненное рекомендуемое расстояние между скважинами, при отсутствии инженерно-геологических изысканий, необходимо принимать не менее 8 метров.

Выполненные исследования, позволили актуализировать ранее разработанную номограмму [55] для определения расстояния между скважинами с

грунтовыми зондами. Пример определения расстояния между скважинами, при наличии выполненных изыскательских работ представлен на рисунке 4.7.

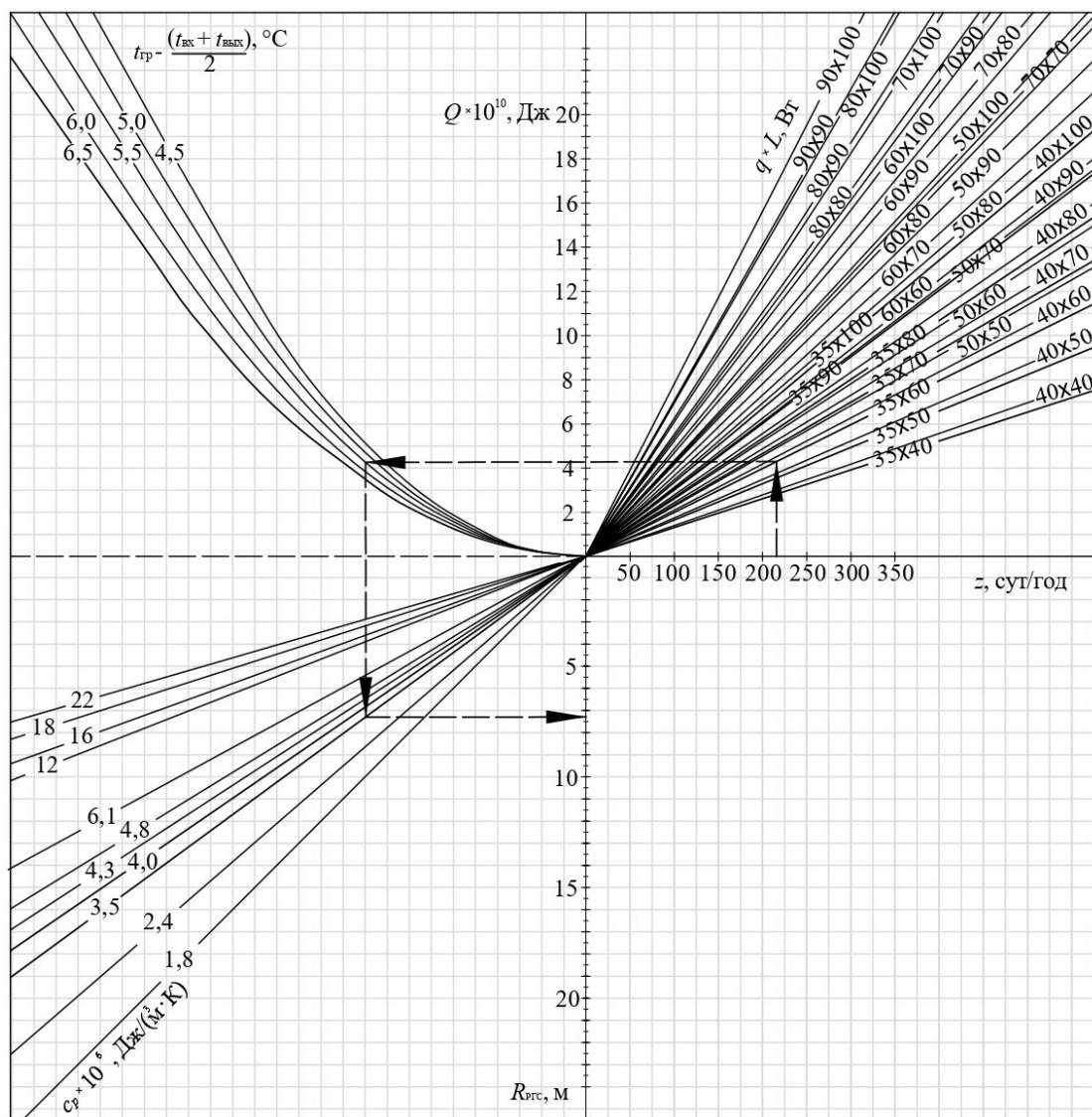


Рисунок 4.7 – Номограмма определения расстояния между скважинами: z – продолжительность отопительного периода, сут/г; q – тепловой поток с метра скважины, Вт/м; L – глубина скважины, м; Q – количество теплоты извлекаемой одной скважиной за отопительный период, Дж; $c\rho$ – объемная теплоемкость грунтового массива, Дж/(м³·К); R – расстояние между скважинами с грунтовыми теплообменниками, м

Расчеты, проведенные по представленной номограмме показали что, одна скважина глубиной 60 м на территории города Омска, позволяет извлекать не менее 10 Гкал низкопотенциальной тепловой энергии за отопительный период.

На основании выполненных исследований, на территории г. Омска, Омского района и Омской области, можно заключить:

- изученные монолиты земли относятся к виду грунтов – среднетеплоемкие [55];

- используемое на территории европейской части Российской Федерации расстояние между грунтовыми зондами не обеспечивает поступление нужного количества низкопотенциального тепла, что подтверждается практическими замерами;
- разработанная методика определения расстояния между геотермальными скважинами позволила достоверно определить рекомендуемое расстояние между теплообменниками в исследуемом районе.

4.3 Расчет количества грунтовых зондов

При выполнении разбивки грунтовых зондов на этапе проведения проектных работ, учитываются условия стесненности земельного участка. Потребность исполнения вышеуказанных работ связана с необходимостью устройства подводящих сетей инженерного обеспечения, а также строительства объектов капитального строительства. Наиболее распространённая глубина устройства грунтовых зондов составляет – 60 м. Широкое применение вышеуказанные зонды получили в следствии того, что с увеличением глубины буровых выработок возрастает давление на сжимаемую «пустоту» грунтового массива.

Для выполнения расчета необходимого количества скважин используем результаты ранее полученного соотношения [67]:

$$N_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{зд}}}{H q_{\text{скв}}}, \quad (4.16)$$

где $Q_{\text{зд}}$ – нагрузка на систему сбора низкопотенциальной энергии грунта, Вт;

$q_{\text{скв}}$ – средний тепловой поток с одного метра скважины, Вт/м;

H – глубина одной скважины, м.

Анализ формулы 4.16, показывает отсутствие влияния солнечной радиации в период эксплуатации отрицательных температур. Выявленный недостаток расчета является существенным, по причине того, что тепловой поток в нейтральной зоне грунта при воздействии отрицательных температур окружающей среды, до отметки промерзания грунта является отрицательным, с увеличением глубины до

отметки нейтральной зоны, существенно отличается от установленных теплофизических характеристик грунтового массива. С учетом устройства большого количества скважин и не глубокого бурения грунтовых выработок (40-60м), погрешность в расчетах может достигать 30%, что значительно повлияет на эффективность работы теплотрансформатора.

Для исключения вышеуказанной погрешности, рекомендуется при выполнении изыскательских работ учитывать в расчетах нейтральную зону грунта. Подставляя $H_{н.з.}$ в формулу (4.16), получаем формулу для расчета количества скважин:

$$N_{ср} = \frac{Q_{зд}}{(H - H_{н.з.})q_{скв}}, \quad (4.17)$$

где $H_{н.з.}$ – глубина нейтральной зоны грунта.

Таким образом, формула 4.17 позволяет учитывать влияние солнечной радиации, существенно увеличивая точность выполнения расчетов.

4.4 Методика расчета вертикальных грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию грунтового массива

Алгоритм расчета:

1. Определение исходных данных.

При выполнении проектно-изыскательских работ объекта капитального строительства на этапе выполнения инженерно-геологических изысканий в программе выполнения работ необходимо предусматривать определение теплофизических характеристик грунтов и определение температурного режима грунтового массива. Производство вышеуказанных работ обусловлено выполнением достоверных расчетов, что на этапе эксплуатации позволит более эффективно использовать систему отопления. В случае невозможности выполнения инженерных изысканий, рекомендуется принимать максимальное расстояние между грунтовыми зондами в соответствие с архивными данными изыскательского фонда региона выполнения работ и использованием номограммой определения расстояния между скважинами (рис. 4.7).

Для города Омска среднее значение коэффициента теплопроводности грунтового массива равно $1,520 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, объемной теплоемкости – $3,461 \text{ МДж/}(\text{м}^3\cdot\text{К})$. Температура грунтового массива в среднем составляет – $+8,6 \text{ }^\circ\text{C}$, длина «нейтральной зоной» устанавливается на отметке $10,8 \text{ м}$ от уровня земли.

2. Расчет требуемой нагрузки на систему сбора низкопотенциальной энергии грунта.

Производится расчет тепловых потерь здания $Q_{\text{зд}}$, Вт, в соответствии с [19, 42, 65, 69, 70].

3. Выбор наполнителя скважины.

В связи с высокой протяженностью разрабатываемых скважин (наиболее распространено производство от 40 до 60 м.), наличием грунтовых, подземных вод – заполнение скважин рекомендуется выполнять наполнителем используя няшу (извлекаемую при бурении), которая ввиду текучего состояния обладает свойством быстрого, равномерного распределения в пространстве скважины и частичного проникновения в пористый массив грунта (при наличии), создавая плотный контакт с трубами грунтового теплообменника. Текущее решение и наполнитель является самым дешевым, простым в исполнении работ.

Няша – болотная топь, топкое дно озера, морского побережья (вязкая глина, ил) – на севере европейской части России и в Сибири [61].

Средние значения теплофизических характеристик няши будут соответствовать грунтовому массиву территории производства работ.

4. Выбор материала труб и типа конструкции грунтового зонда.

Грунтовые теплообменники могут быть выполнены из различных труб, как металлических, так и пластмассовых.

Виды грунтовых зондов описаны в разделе 1.4.1 настоящей работы. Наиболее простой и технически распространённой конструкцией является U-образный грунтовый зонд, выполненный из полиэтиленовых труб. Трубы поставляются в бухтах на объект выполнения работ с последующим свариванием с U-образным наконечником, заводского исполнения, в единую конструкцию.

Трубы имеют низкий коэффициент теплопроводности равный $0,42 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$,

их срок службы достигает 50 лет, так как температура теплоносителя, который они транспортируют не превышает 9-40 °С [62, 63].

5. Определение среднего теплового потока с одного метра скважины, $q_{\text{скв}}$, Вт/м.

Определяется средний тепловой поток с одного метра U-образного грунтового, согласно разработанной математической модели [66].

Тепловой поток с одного метра скважины при применении U-образного грунтового зонда вычисляется по формуле:

$$q_{\text{скв}} = 2q_{\text{ср}}, \quad (4.18)$$

6. Расчет количества грунтовых зондов.

Количество скважин при устройстве грунтовых U-образных зондов выполняется на основании главы 3, п.3.3.

$$N_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{зд}}}{(H - H_{\text{н.з.}})q_{\text{скв}}}, \quad (4.19)$$

где $Q_{\text{зд}}$ – нагрузка на систему сбора низкопотенциальной энергии грунта, Вт;

$q_{\text{скв}}$ – средний тепловой поток с одного метра скважины, Вт/м;

H – глубина одной скважины, м;

где $H_{\text{н.з.}}$ – глубина нейтральной зоны.

Наиболее распространенная глубина грунтовых зондов составляет 40 – 60 метров. При увеличении глубины выполняемых скважин увеличивается сжимаемая мощность грунтового массива, что усложняет производство буровых и монтажных работ.

7. Определение расстояния между скважинами.

Зная тепловой поток, можно рассчитать необходимое расстояние между скважинами по формуле (4.15) либо использовать номограмму (рис. 4.7).

Пользование номограммой: зная отопительный период района застройки, пройти на линию $q_{\text{скв}}H$ (Вт), затем на кривую температурного перепада, на линии ординат получится количество энергии, полученное со скважины за отопительный

период; с линии температурного перепада опускаемся на линию объемной теплоемкости породы в скважине; далее на ординату – расстояние между скважинами.

После определения количества грунтовых зондов, и расчёта расстояния между ними, можно производить разбивку грунтовых скважин территории выполнения работ. В случае стесненности территории под требуемое количество скважин, увеличивают глубину скважин, учитывая или исключая в расчетах длину «нейтральной зоны грунта».

4.5 Усовершенствование U-образных грунтовых зондов и программного обеспечения для улучшения технико-экономической эффективности работы теплотрансформатора

4.5.1 Симметричная проставка для U-образного грунтового зонда

Трубы геотермальных зондов, для упрощения монтажных работ, закрепляют между собой при помощи пластиковых хомутов. Пример монтажа грунтового зонда представлен на рис. 51. Скрепленные трубы зондов существенно уменьшают теплообмен между потоками подающей (холодной) и обратной (нагретой) трубы в следствии чего происходит уменьшение эффективности работы теплотрансформатора имеющего влияние на снижение показателя коэффициента трансформации влияющего на отношение выработанной теплотрансформатором тепловой энергии к потребленной им электрической энергии.



Рисунок 4.8 – Монтаж грунтового зонда: 1 – геотермальный наконечник; 2 – трубы зонда; 3 – пластиковый хомут.

Для увеличения эффективности работы грунтового зонда теплотрансформатора, разработана новая конструкция, на которую получен патент на полезную модель №198052 – «Симметричная проставка для U - образного грунтового зонда», позволяющая увеличивать расстояние между трубами в разрабатываемой буровой скважине с помощью проставки, которая позволяет уменьшить теплообмен между потоками подающей (холодной) и обратной (нагретой) трубы [3].

Техническим результатом полезной модели является:

- уменьшение теплообмена параллельно идущих труб в геотермальном зонде буровой скважины;
- фиксация и установление максимального расстояния между параллельно идущими трубами в геотермальном зонде буровой скважины;
- возможность крепления в центральном отверстии с боковым разъемом для трубопровода подачи воды для увлажнения грунта.

Новое техническое решение (рисунок 4.9) представляет собой буровую скважину 1, симметричную проставку 2, фиксатор 3, монтируемые трубы 4, геотермальный наконечник 5, няша 6, грунтовый массив 7, нагреваемый источник (хладагент) 8, нагретый источник (хладагент) 9, площадку упора 10, распорное кольцо с боковым разъемом 11.

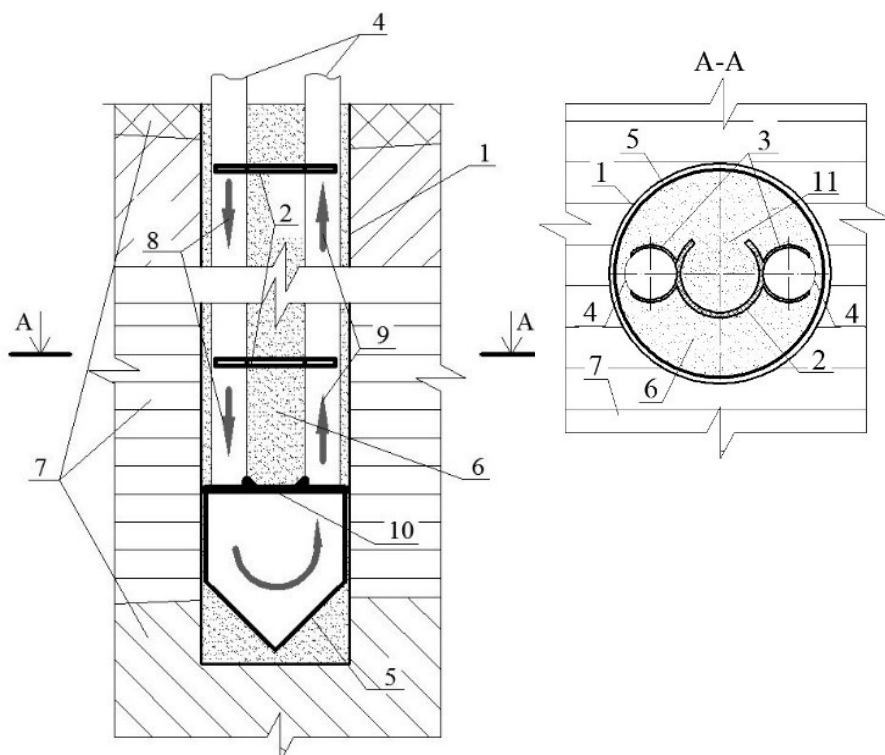


Рисунок 4.9 – Схема U-образного грунтового зонда

4.5.2 Разработка программного обеспечения для ЭВМ

Необходимость разработки программного продукта вызвана актуальностью и востребованностью на практике применения комплексов с программным обеспечением на объектах геологической разведки и мониторинга состояния температурного режима грунтового массива. Особая значимость вызвана необходимостью исследования почвы в северных регионах России, где таяние вечной мерзлоты, вызванной подъемом средней глобальной температуры, влияет на линейные, капитальные объекты строительства.

Цель: создать программное обеспечение для ЭВМ позволяющее регистрировать температуру грунта разведочных скважин.

Задачи:

- программа должна обеспечивать возможность визуального мониторинга температуры грунта в режиме реального времени на дисплей LCD в цифровом и текстовом виде;
- программа должна обеспечивать автоматическую запись (каждые 360 минут) зарегистрированных фактических показаний термальных датчиков на карту памяти.

Описание программы для ЭВМ «Геотермальный регистратор».

Программа разработана на базе Arduino (электронный конструктор, который позволяет создавать разнообразные электро-механические устройства). С целью программирования использовалась упрощенная версия языка C++ с предопределенными функциями. Так же для облегчения разработки прошивок использованы существующие функции, методы и библиотеки, за счет чего существенно упростилась работа с микроконтроллерами.

Разработанная платформа предназначена для годового (двухгодового) мониторинга температуры грунта разведочной скважины, в режиме реального времени, а также автоматической записи (каждые 360 минут) зарегистрированных фактических показаний термальных датчиков на карту памяти. Результаты данных записываются на носитель информации, в текстовый документ расширением «txt» с указанием – даты, месяца, года, часа, минут, секунд и температуры каждого датчика. Показания данных температуры грунта (онлайн) отображаются на дисплей LCD в цифровом и текстовом виде.

Настоящая программа для ЭВМ позволяет регистрировать несколько точек (задаваемой производителем работ единицей длины) температуры грунта термометрической скважины (пример результата записи данных представлен в таблице 4.2).

Таблица 4.2 – Пример результатов записи данных программы «Геотермальный регистратор»

Дата	Время	Температура датчика №1-5
3-12-2019	12:00:00	1, 4, 7, 8, 8
3-12-2019	18:00:00	1, 4, 7, 8, 8
3-12-2019	00:00:00	1, 4, 7, 8, 8
4-12-2019	06:00:00	1, 4, 7, 8, 8
4-12-2019	12:00:00	1, 4, 7, 8, 8
4-12-2019	18:00:00	1, 4, 7, 8, 8

По результатам работы, с Федеральной службой по интеллектуальной собственности, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611929 «Геотермальный регистратор» [4].

4.5.3 Геотермальное устройство для водоупорных грунтов

В связи с наличием изобретений (патент № 2529850 «Геотермальное устройство» [109] и др.), технический результат которых выражается в повышении теплопроизводительности грунтового зонда за счет принудительного увлажнения наполнителя насосным оборудованием в центральной части геотермальной скважины, разработана новая конструкция (патент № 2739298 «Геотермальное устройство для водоупорных грунтов»), увлажняющая наполнитель геотермального зонда, грунтовыми и осадочными водами, без применения дополнительного оборудования.

Цель на которую направлено заявляемое изобретение - разработка конструктивного решения грунтового теплообменника для водоупорных грунтов с повышением теплопроизводительности грунтового теплообменника, без принудительного (насосом) увлажнения наполнителя скважины.

Результатом достижения заявляемой цели являются следующее решение:

- устройство железобетонной камеры, которая выполняет функцию сбора грунтовых и осадочных вод;
- повышение теплопроводности и эффективности отбора теплоты у низкопотенциального источника земли за счет увлажнения наполнителя геотермальной скважины грунтовыми и осадочными водами;
- исключение принудительного увлажнения грунтовой скважины насосом.

По результатам работы, с Федеральной службой по интеллектуальной собственности, получен патент на изобретение №2739298 «Геотермальное устройство для водоупорных грунтов» [110].

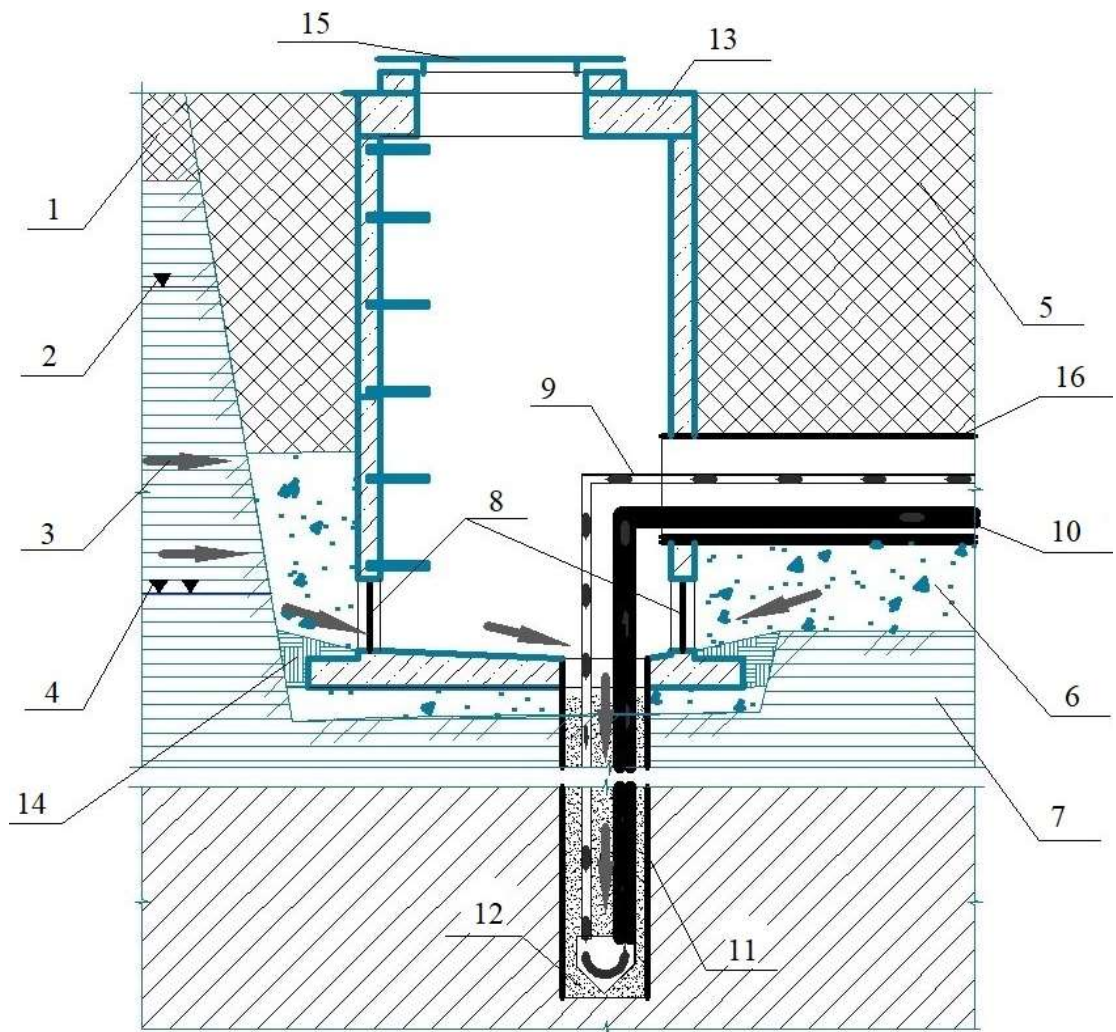


Рисунок 4.10 – Схема геотермального устройства для водоупорных грунтов:
 1 – грунт; 2 – отметка сезонного уровня поверхностных вод; 3 – грунтовые и осадочные воды; 4 – отметка установившегося уровня поверхностных вод; 5 – насыпной грунт; 6 – щебень фракции 5-40 мм; 7 – водоупорный грунт; 8 – фильтр грубой очистки; 9 – подающая труба; 10 – обратная труба; 11 – буровая скважина в обсадной трубе; 12 – заполнителя зонда; 13 – железобетонная камера; 14 – водоупорный грунт; 15 – крышка камеры; 16 – железобетонный лоток.

ГЛАВА 5. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОТРАНСФОРМАТОРА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНИСТVOВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ЗОНДОВ

5.1 Разработка рекомендации для проектирования систем теплоснабжения зданий и сооружений на базе теплотрансформаторов в сочетании с грунтовыми U-образными зондами.

При выполнении проектных работ системы отопления и горячего водоснабжения зданий с применением теплотрансформаторов в сочетании с грунтовыми зондами руководствуются следующими нормативными документами [10, 48, 74, 76-83].

На стадии выполнения предпроектных работ, проектировщиком подготавливаются основные технические решения (архитектурно-планировочные решения, конструктивная схема здания, виды строительных конструкций и инженерного обеспечения). Заказчик рассматривает и утверждает предлагаемые технические варианты или согласовывает исходя из своего решения. На основании наличия имеющихся исходных данных (градостроительный план земельного участка, технических условий на подключение к сетям инженерного обеспечения) принимается решение о проектом решении наружных и внутренних инженерных коммуникаций.

В связи с высокой урбанизацией городских территорий, отсутствием возможности подключения к инженерным сетям (в следствии отсутствия необходимых нагрузок), а также наличием объектов подключение коммуникаций (отопление, газ) которых экономически не выгодно или невозможно внедрения энергосберегающих технологий является наиболее востребованной. Выполнение системы отопления на базе теплотрансформаторов, является наиболее быстрым проектным и строительно-монтажным решением позволяющим в минимальные сроки окупить потраченные средства заказчика [73].

Теплотрансформатор как источник теплоснабжения в сочетании с грунтовыми зондами, на стадии проектирования объекта выбирают на основании следующих положений:

- отсутствия возможности подключения к централизованной системе теплоснабжения или газоснабжения;
- подключение к сетям теплоснабжения или газоснабжения имеют высокую стоимость (высокая протяженность, необходимость перекладки существующих сетей в соответствии с техническими условиями на подключение);
- существующая электрическая мощность для объекта капитального строительства недостаточна. Увеличение электрической мощности имеет высокую стоимость или невозможно;
- существуют источники низкопотенциальной энергии (выброс пара, КНС и прочее);
- наличие средне- и высокотеплоёмких грунтов, имеющих высокую эффективность работы системы отопления на базе теплотрансформатора;
- наличие термальных источников;
- отсутствие пожароопасных процессов;
- высокая автоматизация процесса, не требующая постоянных рабочих мест при эксплуатации объекта;
- возможность удаленного управления системой отопления объекта.

Для определения тепловых нагрузок проектируемого объекта, выполняется расчет тепловой нагрузки системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Следующим этапом выполнения изыскательских работ является оценка доступной низкопотенциального энергетического потенциала грунтовых зондов (глава 2 и 3). После определения типа грунтового зонда, производят подбор оборудования на максимальную требуемую тепловую нагрузку, принимая во внимание рекомендации фирм-производителей оборудования [5, 73, 84].

Для обеспечения надежной работы теплотрансформатора рекомендуется выполнить подключение оборудования по 2 категории электроснабжения [69]. В случае отсутствия второго источника, устанавливается дизельная электростанция позволяющая обеспечить резервным энергообеспечением, до устранения аварийного отключения.

В качестве дополнительного запасного источника теплоснабжения (на аварийную ситуацию), устанавливаются наиболее распространённый электрический

котел, который устанавливается по отношению к теплотрансформатору как параллельно (со смешиванием потоков теплоносителя), так и последовательно (догревание теплоносителя) [73].

В регионах с высокой суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на горизонтальную поверхность, рационально применять гибридные установки [86], то есть совместно использовать теплотрансформатор и солнечные коллекторы [87], обеспечивающие сбор солнечного излучения в любую погоду, вне зависимости от внешней температуры, производительность которых определяется нагрузкой на систему горячего водоснабжения. При выполнении вышеуказанного решения, рекомендуется устанавливать средства автоматизации и контроля, которые позволят обеспечить стабильную, надежную и максимально эффективную эксплуатацию оборудования системы отопления и горячего водоснабжения.

Внедрение системы теплоснабжения на базе теплотрансформаторов в сочетании с грунтовыми U-образными зондами целесообразно в том случае, когда существуют низкопотенциальные источники, а также при выполнении экономического обоснования на этапе выполнения проектно-изыскательских работ [88, 89, 90].

В летний и переходный период, когда нет нагрузки на отопление, основной задачей теплотрансформатора является нагрев воды в баке-аккумуляторе горячего водоснабжения. Нагрев производится при падении температуры в баке до 40 °С и прекращается при достижении температуры 60 °С. В случае неисправности или необходимости проведения обслуживания теплового оборудования нагрузка на ГВС обеспечивается электрическим водонагревателем, встроенным в бак аккумулятор или теплотрансформатором.

5.2 Технико-экономический анализ применения теплотрансформатора с усовершенствованными U-образными грунтовыми зондами

На основании выполненных многочисленных исследований, наибольшие резервы экономии топливно-энергетических ресурсов на российских предприятиях скрыты в технологических процессах [70, 71]. Это связано с тем, что они

обновляются в основном при полном техническом износе оборудования. Мировая же практика показывает, что технологические процессы необходимо обновлять после окончания экономического срока службы оборудования, который значительно меньше технического. Под экономическим сроком подразумевается период времени, за который полностью амортизируются капитальные вложения (инвестиции) в данное оборудование.

При выборе технологических процессов наряду с экономическими факторами следует учитывать систему автоматизации, экологические требования. Только комплексное рассмотрение всех факторов позволяет во многих случаях правильно обосновать необходимость внедрения новых технологий, требующих, как правило, больших капитальных затрат.

Одним из важнейших аспектов технико-экономического обоснования (ТЭО) внедрения ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования является определение прибыльности предлагаемого проекта. Существует несколько критериев прибыльности: срок окупаемости ($T_{ок}$), чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности (ИД) [97].

Срок окупаемости – это время, за которое окупаются капитальные затраты. При равных годовых чистых сбережениях ($B = B_1 = B_2 = \dots = B_T$) не дисконтированный срок окупаемости определяется по выражению:

$$T_{ок} = \frac{K}{B}, \quad (5.1)$$

где K – капитальные затраты, включающие в себя все расходы, связанные с реализацией проекта, тыс. руб.; B – годовая чистая прибыль от реализации проекта, тыс. руб.

В настоящих расчетах рассматривается работа теплового оборудования и ГВС, только в отопительный сезон. В связи с одинаковыми затратами на устройство резервного источника электроэнергии, необходимого для работы теплового оборудования, в текущих вычислениях не учитывается.

В качестве ресурсо- и энерго сберегающего оборудования определено тепловое оборудование (2шт.), рассчитанные на идентичную площадь 240м^2 :

1) Тепловое оборудование №1 (теплотрансформатор №1– Модель КОРСА 30, с U-образными грунтовыми зондами смонтированных с существующим аналогом «Симметричной проставкой для U - образного грунтового зонда»)). Прайс с техническими характеристиками представлено в приложении 14;

2) Тепловое оборудование №2 (теплотрансформатор №2 – Модель КОРСА 30, с U-образными грунтовыми зондами.

3) После получения коммерческих предложений выявлен факт отсутствия прямых возможностей изготовителей теплового оборудования работать «под ключ». Из многочисленных ответов на запросы, проверены и выбраны монтажные организации, имеющие опыт выполнения работ, собственную базу, оборудование и автотранспорт. Следующим этапом после переговоров о возможности снижения стоимости, отобрана компания для выполнения строительно-монтажных работ. Стоимость и виды выполняемых работ по устройству грунтовых зондов и монтажа теплотрансформатора с пусконаладочными работами, а также стоимость оборудования представлены в приложениях 14, 15.

В качестве теплового оборудования выбран теплотрансформатор марки КОРСА30, изготавливаемого ООО «Корса», г.Москва.

Критерии принятия решения строительно-монтажной организации:

- большой опыт реализации проектов;
- высоки процент отечественных комплектующих;
- согласие на сопровождение объекта строительства;
- высокие гарантийные обязательства;
- высокая компетентность, быстрый, индивидуальный подход к Заказчику.

На основании коммерческого предложения, стоимость и виды выполняемых работ по тепловому оборудованию №1 (в ценах 2019 г.), составляют (приложение 14):

- 1) Оборудование (теплотрансформатор марки КОРСА30) – 580 000,00 руб.;
- 2) Комплектующие – 198 000,00 руб.;
- 3) Транспортировка оборудования – 12 000,00 руб.;
- 4) Монтажные работы – 260 000,00 руб.;
- 5) Пусконаладочные работы – 15 000,00 руб.

Тогда капитальные затраты, связанные с реализацией проекта строительно-монтажных работ теплотрансформатора № 1 составят:

$$K_1 = 580 + 198 + 12 + 260 + 15 = 1\,065,0 \text{ тыс руб.}$$

В связи с реализацией аналогичного объекта (схожего по площади и ограждающим конструкциям здания) в 2016 г., необходимости экономического анализа, стоимость работ принимаем в ценах 2019г., исключив стоимость проставки, предусмотренных при реализации объекта 1, стоимость теплового оборудования №2, составят:

$$K_2 = 1\,065,0 - 16,0 = 1\,049,0 \text{ тыс руб.}$$

На основании сравнения стоимости капитальных затрат, установлено, что выполнение строительно-монтажных работ теплотрансформатора и комплектующих составляет 55%.

В зданиях с установленным тепловым оборудованием 1, 2, службой эксплуатации, размещены приборы учета электроэнергии, необходимые для регистрации потребления электрической энергии. По результатам отопительного сезона, установлено общее потребление электроэнергии и ГВС, которое представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Показаний счетчиков электроэнергии и ГВС, в отопительный сезон 2019-2020

№	Наименование теплового оборудования	Затраченная электроэнергия, кВт·час	Показания счетчиков ГВС, м³
1	Теплотрансформатор №1 – Модель КОРСА 30, с U-образными грунтовыми зондами (смонтированные трубы скреплены проставкой). Характеристика системы отопления «Теплые полы»	5 103,0	658,0
2	Теплотрансформатор №2 – Модель КОРСА 30, с U-образными грунтовыми зондами (смонтированные трубы скреплены пластиковыми хомутами). Характеристика системы отопления «Теплые полы»	7 412,0	642,0

При эксплуатации теплотрансформаторов и мониторинге показаний их температурного режима, службой эксплуатации установлено следующее.

В случае понижения температуры наружного воздуха ниже -25°C показания

температуры рабочей жидкости на выходе с неусовершенствованных грунтовых зондов теплового оборудования, установившиеся на начало отопительного сезона $+6^{\circ}\text{C}$, понижались до $0,5 - 1^{\circ}\text{C}$, ниже -30 - до 0°C . Тепловой режим рабочей жидкости на тепловом оборудовании с усовершенствованными грунтовыми зондами изменялся не более чем на $1,5^{\circ}\text{C}$. Повышение эффективности работы теплового оборудования с усовершенствованными грунтовыми зондами подтверждает востребованность применения разработанной симметричной проставки [3], позволяющей уменьшить теплообмен за счет фиксации и установлении максимального расстояния параллельно идущих труб в геотермальном зонде буровой скважины, способствующей увеличению энергосбережения, улучшению эксплуатационных и технико-экономических характеристик теплотрансформатора.

Годовую чистую прибыль от реализации проекта определим по выражению [97]:

$$B = P - Z, \quad (5.6)$$

где P – годовые поступления (выгоды) по проекту, тыс. руб.; Z – приведенные затраты за отопительный сезон, связанные с реализацией проекта, тыс. руб.

Годовые поступления по проекту определим из выражения:

$$P = Q_{om.c} \cdot C_{m.э} \cdot 10^{-3} + Q_{ГВС} \cdot 10^{-3}, \quad (5.7)$$

где $Q_{om.c}$ – выработка тепловой энергии за отопительный сезон, Гкал/от.с;

$C_{m.э} = 1801,54$ – стоимость 1 Гкал тепловой энергии на 2020 г., руб./Гкал;

$C_{ГВС} = 102,25$ – стоимость 1 м³ ГВС на 2020г, руб.;

$C_г = 17,08$ – стоимость 1 м³ холодной воды из городского водопровода на 2020г., руб.

Принимаем $C_{m.э} = 1801,54 \text{ руб./Гкал}$,

$$Q_{om.c} = 24 \cdot n \cdot Q \frac{(t_{в.р} - t_n^{cp})}{(t_{в.р} - t_{нор})}, \quad (5.8)$$

где Q – тепловая мощность теплового оборудования, МВт;

n – количество суток в отопительном периоде;

$t_{в,р}, t_n^{cp}, t_{нор}$ – соответственно, расчетная температура воздуха внутри отапливаемого помещения, средняя температура наружного воздуха за отопительный период и расчетная отопительная температура наружного воздуха, °C.

Тепловая мощность «КОРСА 30» составляет 29,5 кВт·час (0,03 Гкал/ч).

Для г. Омска принимаем: $t_{в,р} = 20^\circ\text{C}$, $t_n^{cp} = -8,1^\circ\text{C}$, $t_{нор} = -36^\circ\text{C}$, $n=221$ дней [10].

$$Q_{от.с} = 24 \cdot 221 \cdot 0,03 \frac{(20 - (-8,1))}{(20 - (-36))} = 79,8 \text{ Гкал/от.с.}$$

$$Q_{ГВС} = (C_{ГВС} - C_e) \cdot N_{ГВС}, \quad (5.9)$$

где $N_{ГВС}$ – расход ГВС за отопительный сезон, м³.

$$Q_{ГВС1} = (102,25 - 17,08) \cdot 658 = 56\,042 \text{ руб.}$$

$$Q_{ГВС2} = (102,25 - 17,08) \cdot 642 = 54\,679 \text{ руб.}$$

Таким образом, годовые поступления по проекту составят:

$$P_1 = 79,8 \cdot 1801,54 \cdot 10^{-3} + 56041,86 \cdot 10^{-3} = 199,881 \text{ тыс.руб.},$$

$$P_2 = 79,8 \cdot 1801,54 \cdot 10^{-3} + 54679,14 \cdot 10^{-3} = 198,442 \text{ тыс.руб.},$$

Затраты за отопительный сезон по проекту определим из выражения [97]:

$$Z = r \cdot K + \Xi_{о.с.} + C_a, \quad (5.10)$$

где $\Xi_{о.с.}$ – расход электроэнергии за отопительный сезон, затраченной на работу тепло-трансформатора, кВт·ч;

C_a – амортизационные отчисления, тыс. руб.;

r – реальная процентная ставка дисконтирования, определяется по формуле:

$$r = \frac{E_{ном} - b}{1 + b}, \quad (5.11)$$

где $E_{ном}$ – номинальная процентная ставка (в расчетах принимаем в размере ставки рефинансирования ЦБ РФ равной 6,0% по состоянию на 07.02.2020г. [75]);

b – средний годовой уровень инфляции (в расчетах принимаем равным 4,0% по оценке Росстата по итогам 2019 г.);

T – период, на протяжении которого производится анализ проекта.

$$r = \frac{0,06 - 0,04}{1 + 0,04} = 0,019$$

Расход электроэнергии за отопительный сезон, от теплового оборудования, в соответствии с таблицей 14 составляют:

$$1) \quad \mathcal{E}_{o.c1} = 5\,103 \cdot 4,06 \cdot 10^{-3} = 20,7 \text{ тыс. руб.};$$

$$2) \quad \mathcal{E}_{o.c2} = 7\,412 \cdot 4,06 \cdot 10^{-3} = 30,0 \text{ тыс. руб.};$$

Годовой размер амортизационных отчислений определим из выражения:

$$C_a = \frac{p_a}{100} \cdot K, \quad (5.12)$$

где p_a – коэффициент амортизации на реновацию и капитальный ремонт.

Принимаем $p_a = 3\%$ год от суммы капитальных затрат [98].

Определяем годовой размер амортизационных отчислений тепловое оборудование 1:

$$C_{a1} = \frac{3}{100} \cdot 1065,0 = 31,95 \text{ тыс.руб.},$$

Теплового оборудования 2,

$$C_{a2} = \frac{3}{100} \cdot 1049,0 = 31,47 \text{ тыс.руб.},$$

Таким образом, затраты за отопительный сезон по проектам составят:

$$Z_1 = 0,019 \cdot 1065,0 + 20,7 + 31,95 = 72,89 \text{ тыс.руб.};$$

$$Z_2 = 0,019 \cdot 1049,0 + 30,0 + 31,47 = 81,40 \text{ тыс.руб.};$$

По формуле (5.6) определяем значение годовой чистой прибыли от реализации проекта:

$$B_1 = 199,881 - 72,89 = 127,0 \text{ тыс.руб.}$$

$$B_2 = 198,442 - 81,4 = 117,0 \text{ тыс.руб.}$$

По выражению (5.1) определим не дисконтированный срок окупаемости проекта:

$$T_{OK1} = \frac{1065,000}{127,0} = 8,4 \text{ года};$$

$$T_{OK2} = \frac{1049,000}{117,0} = 9,0 \text{ года};$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – это разность между приведенной экономией и приведенной суммой инвестиций за время анализа проекта.

Анализ доходности проекта проведем за период равный $T = 15$ лет.

ЧДД определяется по выражению:

$$\text{ЧДД} = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-T}}{r} - K, \quad (5.13)$$

$$\text{ЧДД}_1 = 127,0 \cdot \frac{1 - (1 + 0,019)^{-15}}{0,019} - 1065,0 = 576,691 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{ЧДД}_2 = 117,0 \cdot \frac{1 - (1 + 0,019)^{-15}}{0,019} - 1049,0 = 463,424 \text{ тыс.руб.}$$

Индекс доходности (ИД) – параметр, показывающий, сколько денежных единиц ЧДД приходится на каждую денежную единицу инвестиций.

ИД определяется по формуле:

$$\text{ИД} = \frac{\text{ЧДД}}{K}; \quad (5.14)$$

$$\text{ИД}_1 = \frac{576,691}{1065,0} = 0,54$$

$$\text{ИД}_2 = \frac{463,424}{1049,0} = 0,44$$

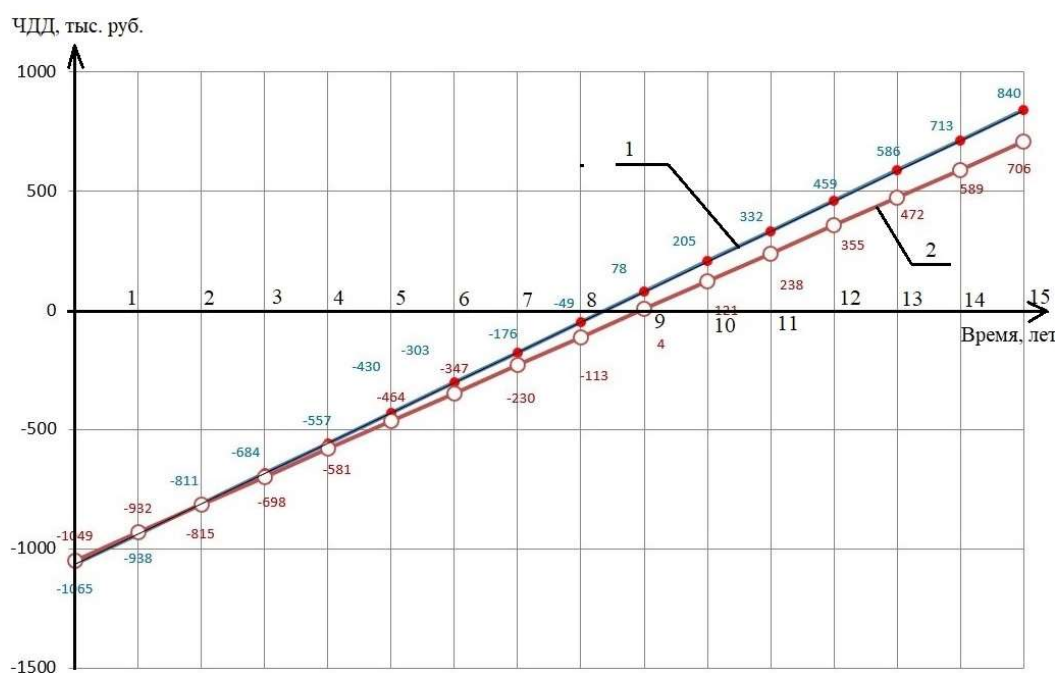
Построим дисконтированный график окупаемости проекта (рисунке 5.1), представляющий собой зависимость ЧДД от времени, по полученным данным, приведенным в таблице 5.2-5.3.

Таблица 5.2 – Экономические показатели теплотрансформатора 1

Показатель	Значение показателя							
Срок службы проекта Т, лет	1	2	3	4	5	6	7	8
Инвестиции К, тыс. руб.	1065,0	—	—	—	—	—	—	—
Экономия V_T , тыс. руб.	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0
Окончательное сальдо с нарастающим итогом (ЧДД)	-938,0	-811,0	-684,0	-557,0	-430,0	-303,0	-176,0	-49,0
Срок службы проекта Т, лет	9	10	11	12	13	14	15	
Инвестиции К, тыс. руб.	—	—	—	—	—	—	—	
Экономия V_T , тыс. руб.	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	
Окончательное сальдо с нарастающим итогом (ЧДД)	78,0	205,0	332,0	459,0	586,0	713,0	840,0	

Таблица 5.3 – Экономические показатели теплотрансформатора 2

Показатель	Значение показателя							
Срок службы проекта Т, лет	1	2	3	4	5	6	7	8
Инвестиции К, тыс. руб.	1049,0	—	—	—	—	—	—	—
Экономия V_T , тыс. руб.	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0
Окончательное сальдо с нарастающим итогом (ЧДД)	-932,0	-815,0	-698,0	-581,0	-464,0	-347,0	-230,0	-113,0
Срок службы проекта Т, лет	9	10	11	12	13	14	15	
Инвестиции К, тыс. руб.	—	—	—	—	—	—	—	
Экономия V_T , тыс. руб.	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0	117,0	
Окончательное сальдо с нарастающим итогом (ЧДД)	4,0	121,0	238,0	355,0	472,0	589,0	706,0	

Рисунок 5.1 – Дисконтированный график окупаемости проекта 1, 2:
1 – теплотрансформатор 1; 2 – теплотрансформатор 2.

По результатам технико-экономических расчетов двух сопоставительных теплотрансформаторов (с усовершенствованными (неусовершенствованными) U - образными грунтовыми зондами) установлено:

1. Расход электроэнергии за отопительный сезон 2019 - 2020 у теплового оборудования с усовершенствованными грунтовыми зондами, на 31 % меньше по сравнению с аналогичным оборудованием;
2. Срок окупаемости источника теплоснабжения на базе грунтового тепло-трансформатора, с усовершенствованными грунтовыми зондами уменьшается на 6,7%.

5.3 Разработка методики выбора теплотрансформаторов

Настоящие методические указания составлены для учебных целей, проектных организаций, строительно-монтажных и эксплуатационных организаций, выполняющих работы в области теплоснабжения зданий и сооружений.

Цель разработки методики – формирование методологии теоретических аспектов необходимых для начинающих специалистов, имеющих малый опыт выполнения подбора теплового оборудования необходимого для отопления объекта капитального строительства.

Выполнение теплового расчета с учетом предложений методики объекта капитального строительства, инженерных сетей, а также подбора инженерного оборудования позволяет минимизировать аварийные, ремонтные работы, нормативно использовать приборы и устройства, инженерные коммуникации при эксплуатации зданий и сооружений.

Для расчета применяют следующие исходные данные:

- схематические планы этажей, разрез проектируемого объекта или сооружения;
- географическое местоположение проектируемого объекта или сооружения;
- теплотехнические характеристики ограждающих конструкций.

В соответствии с согласованными архитектурными и технологическими решениями проектируемого объекта капитального строительства, а также технического задания, согласованного Заказчиком на этапе заключения договорной

документации, определяются:

- назначения помещений;
- расчетные параметры наружного воздуха для холодного периода года с обеспеченностью 0,02: температура t_{ext} – для района строительства объекта [10];
- расчетные параметры внутреннего воздуха (в зависимости от назначения помещений): температура t_{int} , требуемый воздухообмен L или кратность воздухообмена n [91].

Проектирование системы отопления здания начинают с расчета теплотерь его основных и вспомогательных помещений.

Требуемую мощность системы отопления определяем с помощью уравнивания теплового баланса для каждого отапливаемого помещения [48]:

$$Q_h^y = \sum Q_h + Q_{inf} - Q_{int}, \quad (5.15)$$

где Q_h^y – мощность системы отопления, Вт;

$\sum Q_h$ – суммарные теплотери через ограждающие конструкции рассчитываемого помещения, Вт;

Q_{inf} – затраты теплоты на подогрев инфильтрирующегося воздуха, Вт;

Q_{int} – бытовые теплопоступления, Вт.

Потери теплоты помещениями через ограждающие конструкции $\sum Q_h$, рассчитываемые при проектировании, необходимо определять, суммируя потери теплоты через ограждающие конструкции с округлением до 10 Вт по следующей формуле:

$$Q_h = \frac{(t_{int} - t_{ext})}{R_h^o} \cdot A_h \cdot n \cdot (1 + \sum \beta), \quad (5.16)$$

где A_h – расчетная площадь ограждающей конструкции, m^2 (определяется на основании архитектурно-планировочных решений здания);

n – коэффициент соприкосновения ограждающей конструкции с наружным воздухом (определяется по таблице 6 [48]);

R_h^o – сопротивление теплопередаче ограждающих конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$(1+\sum\beta)$ – добавочные потери теплоты.

Расчет выполняется для ограждающих конструкций, которые граничат:

- с наружным воздухом (стены, окна, входные и балконные двери, перекрытия над проездами, совмещенные покрытия);
- с неотапливаемыми помещениями (чердачные перекрытия, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и подпольями);
- с помещениями, имеющими температуру внутреннего воздуха на $3\text{ }^\circ\text{C}$ и более ниже, чем в рассчитываемом помещении.

Для чердачных перекрытий теплых чердаков и цокольных перекрытий над подвалом с температурой воздуха в них t_c , большей t_{ext} , но меньшей t_{int} , коэффициент n следует определять по формуле:

$$n = \frac{(t_{int} - t_c)}{(t_{int} - t_{ext})}, \quad (5.17)$$

При определении расчетной площади ограждающих конструкций необходимо руководствоваться следующими правилами обмера их поверхностей. (Пример исходных данных для подбора теплотрансформатора представлено в приложении 11):

- высота стен первого этажа, если пол находится непосредственно на грунте, определяется по расстоянию между уровнями полов первого и второго этажей; если пол на лагах – от уровня подготовки пола на лагах до уровня пола второго этажа; при неотапливаемом подвале или подполье – от уровня низа перекрытия подвала до уровня чистого пола второго этажа; в одноэтажных зданиях – от уровня пола до верха утепляющего слоя перекрытия;
- высота стен промежуточного этажа определяется по расстоянию между уровнями полов данного и вышележащего этажей, а высота верхнего этажа – от уровня его чистого пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия или бесчердачного покрытия;
- длина наружных стен в угловых помещениях принимается от кромки

наружного угла до осей внутренних стен, а в не угловых помещениях – между осями внутренних стен;

– площади окон, дверей, фонарей – по наименьшим размерам строительных проёмов в свету;

– площади потолков и полов над подвалами, подпольями в угловых помещениях – по размерам от внутренней поверхности наружных стен до осей противоположных стен, а в не угловых помещениях – между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружной стены до оси противоположной стены.

Для расчета площадей ограждающих конструкций их линейные размеры принимаются с точностью до 0,1 м, а величины площадей округляются до 0,1 м².

Потери теплоты через полы, расположенные на грунте или на лагах, определяются по зонам – шириной по 2 м, параллельным наружным стенам. Причем поверхность угловых участков пола (в первой двухметровой зоне) учитывается дважды, то есть по направлению обеих стен, составляющих угол, пример представлен в приложении 12.

Добавочные потери теплоты определяются в долях от основных потерь и учитываются в формуле (5.2) членом $(1 + \Sigma\beta)$.

Добавочные потери теплоты учитываются на:

- ориентацию помещений по отношению к сторонам света;
- нагревание холодного воздуха, поступающего в помещение через наружные двери;
- дополнительные потери тепла через ограждающие конструкции с низкими расчётными температурами наружного воздуха.
- Величина β для зданий принимается равной:
 - для наружных вертикальных и наклонных стен, дверей и окон, обращённых на север, восток, северо-восток и северо-запад, $\beta=0,1$, на юго-восток, запад, $\beta=0,05$, на юг и юго-запад, $\beta=0$;
 - для необогреваемых полов первого этажа над холодными подпольями зданий в местностях с расчётной температурой наружного воздуха -40°C и ниже $\beta=0,05$;
 - для наружных дверей, не оборудованных воздушными или воздушно-

тепловыми завесами, при высоте зданий H : $\beta=0,2 \cdot H$ – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними; $\beta=0,27 \cdot H$ – для двойных дверей с тамбуром между ними; $\beta=0,34 \cdot H$ – для двойных дверей без тамбура; $\beta=0,22 \cdot H$ – для одинарных дверей (для входных наружных дверей лестничных клеток величина H определяется по разрезу здания от отметки пола в тамбуре лестничной клетки до отметки верха утеплителя).

При расчёте теплопотерь через ограждающие конструкции и сходные получаемые фактические данные вписывают в специальный формуляр (бланк) для лучшей организации техники расчёта. Теплопотери лестничных клеток записываются в конце бланка после всех остальных помещений. Для сокращения записи ограждающие конструкции зданий условно обозначаются: НС – наружные стены, ВС – внутренние стены, ПТ – потолок, ПЛ – пол, ТО – тройное остекление, ДД – двойные двери.

Затраты теплоты на подогрев приточного воздуха Q_{inf} в помещение рассчитываются по формуле:

$$Q_{inf} = 0,28 \cdot c_v \cdot L_n \cdot A_c \cdot \gamma_{ext} \cdot (t_{int} - t_{ext}), \quad (5.18)$$

где c_v – удельная теплоёмкость воздуха [принимается равной 1,0 кДж/(кг·°С)];

A_c – площадь пола, м²;

γ_{ext} – удельный вес наружного воздуха, кг/м³, определяемая по формуле:

$$\gamma_{ext} = \frac{353}{273 + t_{ext}}, \quad (5.19)$$

где L_n – нормативный воздухообмен, принимаемый:

а) 30 м³/ч для жилых помещений общей площадью квартиры на 1 человека более 20 м²;

б) 3 м³/ч на 1 м² жилой площади для жилых помещений общей площадью квартиры на 1 человека менее 20 м²;

в) для жилых зданий - $0,35 h_{эт} \cdot A_{об}$, но не менее 30 м,

где $h_{эт}$ – высота от пола до потолка;

$A_{об}$ – общая площадь квартир, m^2 ;

m – расчетное число жителей в здании;

г) для общественных и административных зданий определяют согласно подразделу проектная документация «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети» с учетом баланса приточного и вытяжного воздуха, в том числе при использовании систем рециркуляции, либо согласно приложения И [74], а также с учетом количества человек в здании согласно ранее выполненного раздела «Технологические решения») [92].

По причине различных требований к микроклимату отдельных помещений или различных режимов работы здание (сооружение) может быть разделено на несколько зон с различными заданными температурами помещений, воздухообменом, средние кратности воздухообмена:

- всё здание может моделироваться одной зоной;
- может разделяться на несколько зон для выполнения многозонного расчета без учета теплового взаимодействия между зонами;
- может разделяться на несколько зон для выполнения многозонного расчета с учетом теплового взаимодействия между зонами.

Условия отнесения помещений к одной зоне:

- требуемая температура для различных помещений одной зоны отличается не более, чем на 6 (4) °С. Требуемую температуру в зоне следует принимать;
- помещения обслуживаются одной или однотипными системами отопления или охлаждения;
- регулирование поддержания заданной температуры в помещениях осуществляется по одному принципу (например, в холодный период с помощью терморегуляторов, установленных на отопительных приборах);
- помещения используются в одинаковом временном режиме;
- в помещениях имеются приблизительно одинаковые суммарные за сутки удельные тепловыделения, в том числе от людей, освещения, технологического или другого тепловыделяющего оборудования, солнечной радиации, транзитных трубопроводов и воздуховодов и т.д., или все выделения теплоты, имеющие место в помещениях одной зоны, можно считать равномерно распределенными по

площади всех помещений;

– к одной зоне относятся не только функциональные помещения, но и небольшие коридоры, холлы и другие вспомогательные помещения, двери в которые из функциональных помещений часто открываются, если их суммарная площадь не превышает 30 % общей площади зоны;

– средний воздухообмен, приходящийся на 1 м² площади помещений, отличается не более чем в 1,5 (4) раза.

Здание (сооружение) состоящее из нескольких зон с различным воздухообменом, средней кратности воздухообмена определяются для каждой зоны в отдельности (зоны, на которые разделено здание, должно составлять весь отапливаемый объем). Все полученные средние кратности воздухообмена суммируются и суммарный коэффициент подставляется в формулу (5.18).

Бытовые тепlopоступления Q_{int} в жилых зданиях рассчитываются для помещений кухонь и жилых комнат по формуле:

$$Q_{int} = q_{int} \cdot A_c, \quad (5.20)$$

где q_{int} – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений, Вт/м² или расчетной площади общественного здания принимается для:

– жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м² общей площади и менее на человека) $q_{\text{ж}}=15 \text{ Вт/м}^2$ [93];

– жилых зданий без ограничения социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 45 м² общей площади и более на человека) $q_{\text{ж}}=5 \text{ Вт/м}^2$ [93];

– других жилых зданий – в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции величины q_{int} между 15 и 5 Вт/м² [93];

– для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения определяются по расчетному числу людей, находящихся в здании, освещения, $Q_{\text{осв}}$ (Вт), (по установочной мощности согласно проекту) и оргтехники ($q_{\text{орг}}=10 \text{ Вт/м}^2$) с учетом

рабочих часов в неделю:

$$q_v = \frac{q_{\text{чел}} \cdot n_{\text{чел}} \cdot m_{\text{раб}} \cdot p_{\text{чел}} \cdot Q_{\text{осв}} \cdot m_{\text{осв}} \cdot q_{\text{орг}} \cdot A_p \cdot m_{\text{орг}} \cdot p_{\text{орг}}}{168 \cdot A_p} \quad (5.21)$$

где A_p – расчетная площадь помещений зоны здания, м²;

$q_{\text{чел}}$ – тепловыделения от одного человека, принимаемые 90 Вт/чел.;

$n_{\text{чел}}$ – расчетное число людей, работающих или максимальное число посетителей, чел.;

$m_{\text{раб}}$ – число рабочих часов присутствия людей в помещении за неделю, ч;

$p_{\text{чел}}$ – заполняемость помещений людьми;

$m_{\text{осв}}$ – среднее за отопительный период число часов работы освещения в помещениях зоны, ч;

$q_{\text{орг}}$ – средняя по расчетной площади зоны удельная установленная мощность (тепловой поток), Вт/м², от оргтехники и других внутренних источников теплоты. При неизвестной величине принимается 10 Вт/м²;

$m_{\text{орг}}$ – число часов работы оргтехники или других внутренних источников теплоты за неделю, ч;

$m_{\text{орг}}$ – доля одновременно работающих источников теплоты;

168 – число часов в неделе;

$Q_{\text{осв}}$ – проектная мощность освещения, Вт;

$$Q_{\text{осв}} = q_{\text{осв}} \cdot A_p, \quad (5.22)$$

где $q_{\text{осв}}$ – максимально допустимой удельной установленной мощности освещения, Вт/м², в зависимости от функционального назначения помещения.

Соотношение нагрузок горячего водоснабжения (ГВС) и отопления влияет на то, будет ли центральное регулирование производиться по отопительной нагрузке или по совместной нагрузке отопления и ГВС. Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке целесообразно в системах теплоснабжения со

среднечасовой нагрузкой ГВС, не превышающей 15 % от расчетного расхода тепловой энергии на нужды отопления. Тогда горячее водоснабжение определяем по формуле [94]:

$$Q_{\text{ГВС}} = Q_h^y \cdot 0,15, \quad (5.23)$$

Суммарное потребление тепловой энергии в отопительный сезон $Q_{\text{от.с.}}$, кВт/час для объекта определяем по формуле:

$$Q_{\text{от.с.}} = (Q_h^y + Q_{\text{ГВС}}) \cdot d, \quad (5.24)$$

где, d – количество суток в отопительном сезоне;

После того, как завершен расчет для подбора теплотрансформатора, с учетом полученных данных приступают к выбору данного прибора для обеспечения теплоснабжения и горячего водоснабжения. При этом расчетную мощность определяют, исходя из выражения:

$$Q_{\text{тн}} = 1,1 \cdot Q_{\text{от.с.}}, \quad (5.25)$$

где, 1,1 является корректирующим коэффициентом, поскольку при возникновении критических температур возможно увеличение нагрузок на теплотрансформатор.

После произведенных расчетов, по спецификациям от поставщиков оборудования, подбирается теплотрансформатор.

Выводы:

1. Разработанная методика позволяет выполнить поэтапные тепловые расчеты необходимые для определения суммарной потребляемой тепловой энергии в отопительный сезон объекта капитального строительства;
2. На основании произведенных расчетов по спецификациям от поставщиков оборудования, подобрать тепловое оборудование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение технико-экономических показателей работы теплотрансформаторов. Применение разработанной методологии и использование новых данных позволяет повысить эффективность работы теплового оборудования, использующего низкопотенциальную тепловую энергию земли.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования грунтового массива, зафиксирована нейтральная зона грунта на территории г. Омска, позволяющие использовать, ранее отсутствующие данные, для проектирования геотермальных зондов. Средняя температура грунтового массива для г. Омска составила $+8,6^{\circ}\text{C} \pm 0,23^{\circ}\text{C}$, максимальная глубина влияния солнечной радиации на грунтовой массив установлена на отметке $-8,7$ м от уровня земли.

2. Обоснована математическая модель, выражающая расчетный метод эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, при которой уже не происходит увеличения температуры пропиленгликоля, соответственно дальнейшее увеличение глубины зонда экономически неэффективно.

3. Улучшена методика определения количества скважин и расстояния между ними. Усовершенствована номограмма расстояния между геотермальными зондами с учетом полученных экспериментальных данных.

В качестве рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации рекомендуется выполнить исследования грунтов в весенне-летний период для получения отсутствующих данных о возможности использования грунтового массива для кондиционирования зданий и сооружений, учесть в перспективных планах выполнение теплофизических исследований в районах, где отсутствует газификация и использование низкопотенциальной энергии грунтов является наиболее актуальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации". – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://base.garant.ru/55171684/?> (дата обращения 12.01.2021)
2. Указ Президента РФ от 16 декабря 2015 г. N 623 "О Национальном центре развития технологий и базовых элементов робототехники". – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://base.garant.ru/71280896/?> (дата обращения 12.01.2021)
3. Патент 198052 Российская Федерация, МПК F16L 3/22 (2006.01). Симметричная проставка для U-образного грунтового зонда: № 2019124075; заявлено 23.07.2019; опубликовано 16.06.2020 / Кадцын И.И., Стариков А.П. Бюл. № 17. – Текст : непосредственный.
4. Программа для ЭВМ №2020611929 Российская Федерация. Геотермальный регистратор: №2020610813; заявлено 31.01.2020; опубликовано 12.02.2020 / Кадцын И.И., Стариков А.П., Резанов Е. М. Бюл. №2. – Текст : непосредственный.
5. Васильев, Г.П. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии // Васильев Г.П., Хрустачев Л.В., Розин А.Г. и др. . – Текст : непосредственный Правительство Москвы Москомархитектура, ГУП «НИАЦ», 2001 г., с. 6;
6. Справочник по проектированию и монтажу тепловых насосов. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://www.buderus.ru/files/200903232039060.17%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B2.pdf> (дата обращения 05.02.2021)

7. Шилкин, Н.В. Системы отопления на базе теплонасосных установок. Подмос-ковный опыт / Шилкин Н.В. – Текст : непосредственный – М.: Сантехника №4 – 2012
8. Гащо, Е.Г. Информационно-методическое пособие. Тепловые насосы в со-временной промышленности и коммунальной инфраструктуре / Гащо Е.Г., Козлов С.А., Пузаков В.С., Разоренов Р.Н., Свешников Н.И., Степанова М.В. – Текст : непо-средственный – М.: Издательство «Перо» – с.48-49, 58-59
9. Рыкалин, Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке / Рыкалин Н.Н. – Текст : непосредственный – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы – 1951 – 296 с.
10. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99 Строительная климатология». НИИСФ РААСН, ФГБУ «ГГО» . – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://ар-групп.рф/wp-content/uploads/2019/05/SP-131.13330.2018-SNiP-23-01-99-Stroitel'naya-klimatologiya-.pdf> (дата обращения: 25.12.2020)
11. Орлов, В.П. Западная Сибирь, Геология и полезные ископаемые России, Том 2 / Орлов В.П., Конторович А.Э., Сурков В.С. – Текст : непосредственный – СПб.: ВСЕГЕИ – 2000 – 477 с.
12. Кадцын, И.И. Методика определения оптимальной глубины односкважин-ного коаксиального геотермального коллектора / И.И. Кадцын, О.В. Хороших, В.Ф. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2019. – №2 (38). – С. 127–135.
13. Дучков, А.Д. Тепловое поле недр Сибири / А.Д. Дучков, С.В. Лысак, В.Т. Балобаев и др. – Текст : непосредственный – Новосибирск: Наука – 1987 – 196 с.
14. Дучков, А.Д. Каталог данных по тепловому потоку Сибири / А.Д. Дучков. – Текст : непосредственный – Новосибирск: ИГиГСОАН СССР – 1985 – 82 с.
15. Смирнов, Я.Б. Геотермическая карта Северной Евразии М 1:5 000 000 / Я.Б. Смирнов, Р.И. Кутас, Ю.К. Щукин. – Текст : непосредственный – М.: ГИНАН СССР – 1986.
16. Гордиенко, В.В. Карта теплового потока территории СССР. М-б1 : 5 000 000 / В.В. Гордиенко, У.И. Моисеенко. – Текст : непосредственный – Киев: Ин-т гео-физики АНУ краины – 1991.

17. Дучков, А.Д. Геотермический атлас Сибири. Закономерности строения и эволюции геосфер. / Дучков А.Д., Соколова Л.С. – Текст : непосредственный – Хабаровск: 2004 – С. 45–56.
18. Hurlig, E. Geothermal Atlas of Europe / E. Hurlig, V. Cermak, R. Haenel, V. Zuу. – Текст : непосредственный – Potsdam: GeoforschungsZentrum – 1992
19. Дучков, А.Д. Мерзлотно-геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока // Дучков А.Д., Добрецов Н.Н., Аюнов Д.Е., Соколова Л.С. – Текст : непосредственный / Динамика физических полей Земли – М.: СветочПлюс – 2011 – С. 207–221.
20. Курчиков, А.Р. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири / Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. – Текст : непосредственный – М.: Недра – 1987 – 134 с.
21. Лысак, С.В. Тепловой поток континентальных рифтовых зон / Лысак С.В. – Текст : непосредственный – Новосибирск: Наука – 1988 – 200 с.
22. Балобаев, В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии / Балобаев В.Т. – Текст : непосредственный – Новосибирск: Наука – 1991 – 194 с.
23. Голубев, В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне / Голубев В.А. – Текст : непосредственный – Новосибирск: Гео – 2007 – 218 с.
24. База данных Российская Федерация, Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока (2009–2012) / Дучков А.Д., Железняк М.Н., Аюнов Д.Е., Веселов О.В., Соколова Л.С., Казанцев С.А., Горнов П.Ю., Добрецов Н.Н., Болдырев И.И., Пчельников Д.В., Добрецов А.Н. – Текст : непосредственный – №2015620488 – Электронный ресурс URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (дата обращения: 20.02.2021)
25. Васильев, Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли / дис... д-ра. техн. наук: 05.23.03 / Васильев Григорий Петрович. – Текст : непосредственный – М., 2006. – 432 с.
26. Васильев, Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин. – Текст : непосредственный – М.: АВОК. – 2003. – №2. – С. 52-60.

27. Федянин, В.Я. Оценка эффективности использования возобновляемых источников энергии в системах теплоснабжения для условий юга Западной Сибири: дис. д-ра. техн. наук: 01.04.14, 05.14.08 / Федянин Виктор Яковлевич. – Текст : непосредственный - Барнаул., 2004. – 241 с.

28. Бутузов, В.А., Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе использования возобновляемых источников энергии: дис. ...д-ра. тех. наук: 05.14.08 / Бутузов Виталий Анатольевич. – Текст : непосредственный – М., 2007. – 297 с.

29. Ададуров, Е.А. Повышение эффективности использования аккумуляторов теплоты с возобновляемыми источниками энергии: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.08 / Ададуров Евгений Анатольевич. – Текст : непосредственный – Краснодар., 2004. - 178 с.

30. Сотникова, К. Н. Комбинированные системы теплоснабжения, сочетающие традиционные и возобновляемые источники энергии: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.03 / Сотникова Ксения Николаевна. – Текст : непосредственный – Воронеж., 2009. – 200 с.

31. Гришков, А.А. Совершенствование режимных и технологических характеристик систем теплоснабжения малоэтажных жилых зданий при использовании источников низкопотенциальной теплоты: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Гришков Алексей Александрович. – Текст : непосредственный - Пермь, 2010. - 127 с.

32. Кротов, В.М., Совершенствование методики расчета первичного контура систем теплоснабжения, использующих низкопотенциальную теплоту грунта: дис. ... канд. техн. Наук: 05.23.03 / Кротов Владимир Михайлович. – Текст : непосредственный - Тюмень, 2011 - 139 с.

33. Lund, J. Geothermal (ground-source) heat pumps a world overview / J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellström – Text : direct // GHC Bulletin. - September 2004. - pp. 218-227.

34. Rybach, L. Design and performance of borehole heat exchanger/heat pump systems / L. Rybach – Text : direct // Proc. European Summer School of Geothermal Energy Applications. - Oradea/Romania. – 2001.- pp. 173-181.

35. Gordon, R. Bloomquist, Ph.D. Washington State University Energy Program / Geothermal heat pumps four plus decades of experience – Text : direct // GHC Bulletin, December 1999. - pp. 13-18.
36. Hellström, G. Thermal performance of borehole heat exchangers / G. Hellström – Text : direct // The Second Stockton International Geothermal Conference – Sweden: Department of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, 1998. – pp. 38-48.
37. Walter, J. Eugster. Sustainable production from borehole heat exchanger systems / Walter J. Eugster, Ladislaus Rybach – Text : direct // Proceedings World Geothermal Congress 2000 Kyushu. - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000. - pp. 825-830.
38. Walter, J. Eugster. How renewable are borehole heat exchanger systems? Walter J. Eugster, Thomas Megel, Ladislaus Rybach – Text : direct // Transactions-Geothermal Resources Council 23:563-566. - January, 1999.
39. Yavuzturk, Cenk. Modeling of vertical ground loop heat exchangers for ground source heat pump systems: Doctoral Thesis / Yavuzturk Cenk – Text : direct - USA, Oklahoma State, 1999. - p. 251.
40. Kurevija, T. Influence of undisturbed ground temperature and geothermal gradient on the sizing of borehole heat exchangers / T. Kurevija, D. Vulin, V. Krapec – Text : direct // World renewable energy congress. – Sweden, 2011. – pp. 1360-1367.
41. Zeng, H.J. A finite line-source model for boreholes in geothermal heat exchangers / H.J. Zeng, N.R. Diao, Z.H. Fang – Text : direct // Heat transfer - Asian Research. 2002. – 31 (7). - pp. 558-567.
42. Spitler, J.D. Preliminary inter model comparison of ground heat exchanger simulation models / J.D. Spitler, J.R. Cullin, E. Lee, D.E. Fisher – Text : direct // Proceedings of 11th International Conference on Thermal Energy Storage. – Stockholm, 2009/6. – pp. 14-17.
43. Javed, S. Design of ground source heat pump systems - Thermal modeling and evaluation of boreholes: Licentiate thesis, Building service engineering / Saqib Javed – Text : direct // Technical report D2010:02. - Sweden, 2010. - p. 125.

44. Corradi, C. Numerical Simulation of the Thermal Response Test Within Comsol Multiphysics Environment / C. Corradi, L. Schiavi, S. Rainieri, G. Pagliarini – Text : direct // Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference. – Hannover, 2008.

45. Hanova, J., Davlatabadi H. Strategic GHG reduction through the use of ground source heat pump technology – Text : direct / Environmental Research Letters 2 (2007) 044001 - 8 pp.

46. Межгосударственный стандарт. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Издания. ОАО «ПНИИИС». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс», 4 с. – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116021> (дата обращения: 26.02.2021)

47. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Омской области в 2007 году. Издатель. Министерство промышленной политики, транспорта и связи Омской области. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – Омск: ООО «Издательство «Манифест»», 2008. – с. 73

48. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Издания. НИИСФ РААСН. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: ООО «Аналитик», 2012. – 19 с.

49. Национальный стандарт Российской Федерации. Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Издания. ОАО «НИИТеплоприбор». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс», 6 с. – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069617> (дата обращения: 22.01.2021)

50. Межгосударственный стандарт. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). Издания. Технический комитет по стандартизации ТК 341 «Внешние воздействия». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005021> (дата обращения: 02.04.2021)

51. Межгосударственный стандарт грунты. Метод полевого определения температуры. Издания. Научно-исследовательским, проектно-изыскательским и конструкторско-технологическим институтом оснований и подземных сооружений

им.Н.М.Герсевича (НИИОСП им.Н.М.Герсевича) ОАО "НИЦ "Строительство".
Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО
«Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096135> (дата
обращения: 24.02.2021)

52. Межгосударственный стандарт. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP). Издания. Техническим комитетом по стандартизации ТК 341. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136066> (дата обращения: 06.03.2021)

53. ГОСТ 25358-2012 Грунты. Метод полевого определения температуры. Издания. ОАО «НИЦ «Строительство». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013 – 1-5 с.

54. Рей, Д.А. Тепловые насосы / Д.А. Рей, Д. Макмайл. – Текст : непосредственный – М. Энергоиздат – 1982 – 6 с.

55. Журмилова, И.А. Влияние теплофизических свойств грунта на формирование геотермального поля в системе сбора низкопотенциальной энергии грунта / И.А. Журмилова, А.С. Штым. – Текст : непосредственный – Владивосток: – Вестник инженерной школы ДВФУ – 2017 – №3(32) – стр. 6.

56. Поваров, О.А. Развитие геотермальной энергетики в России и за рубежом / О.А. Поваров – М. – Текст : непосредственный: Теплоэнергетика №3, 2006 – с. 8.

57. Каталог геотермальные системы Uponor. Издатель. ПАО «Uponor». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <http://uponor.prok-tor.ru/GeoThermalSystemUponor2.PDF> (дата обращения: 09.01.2021)

58. Пат. на модель №75670 Российская Федерация, E02D 1/00 (2006.01) Грунтовый вертикальный зонд / Жилин И.А., Егоров Л.Ф., Журавлев А.В., Пиастров А.В., Сапрыкин В.В., Столовник А.В., Щербаков А.В. – Текст : непосредственный – № 2007114972/22 – Электронный ресурс URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (дата обращения 21.01.2021)

59. Кадцын, И.И. Исследование теплофизических характеристик грунтов города Омска для проектирования геотермальных зондов / И.И. Кадцын, А.П. Стариков, В.Р. Ведрученко – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 128–139.

60. Восстановление энергетического потенциала системы теплосбора геотермальных тепловых насосов / А.С. Штым, И.А. Журмилова, Т.Г. Савина. – Текст : непосредственный // Вологдинские чтения. 2012. – г. Владивосток – №80 – стр. 51.

61. Няша. Издатель. Большой Энциклопедический словарь. 2000. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс», 23 с. – Электронный ресурс URL: <https://gufo.me/dict/bes/%D0%9D%D0%AF%D0%A8%D0%90> (дата обращения: 06.04.2021)

62. Межгосударственный стандарт. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. Издания. Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 241 "Пленки, трубы, фитинги, листы и другие изделия из пластмасс" Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный. – М.: АО «Кодекс», 23 с. – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029492> (дата обращения: 21.01.2021)

63. СН 550-82 Строительный нормы. Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. Издания. Институт ВНИИМонтажспецстрой-Киевский филиал Минмонтажспецстроя СССР. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс», – 34 с. – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/901707478> (дата обращения: 28.01.2021)

64. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. Издания. ПНИИИС Госстроя СССР, НИИОСП Госстроя СССР, ЛенЗНИИЭП Госгражданстроя СССР, МИСИ им. В. В. Куйбышева, Фундаментпроект Минмонтажспецстроя СССР. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: Стройиздат, 1973. – с. 53–77.

65. Болотов, А.Г. Теплофизическое состояние почв и совершенствование инструментальной базы для его исследований: дис. ... канд. тех. наук: 06.01.03 / Болотов Андрей Геннадьевич. – Текст : непосредственный – Барнаул, 2003. – 148 с.

66. Журмилова, И.А. Процессы теплообмена в системе сбора низкопотенциальной энергии грунта / И.А. Журмилова, А.С. Штым. – Текст : непосредственный // Научное обозрение – 2016 - №2 – 62-69с.

67. Журмилова, И.А. Методика расчета систем сбора низкопотенциальной энергии грунта / И.А. Журмилова, А.С. Штым. – Текст : непосредственный // Наука образования – 2016 - №9 – 77-83с.

68. Кадцын, И.И. Инновационные способы применения геотермального отопления в несущих строительных конструкциях / И.И. Кадцын, А.П. Стариков. – Текст : непосредственный // Повышение энергоэффективности объектов и систем теплоснабжения: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Омск. Омский гос. ун-т путей сообщения. – С. 138–145.

69. Правила устройства электроустановок. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030218> (дата обращения: 14.03.2021)

70. Вагин, Г.Я. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях : Справочно-методическое пособие / Г. Я. Вагин, Л.В. Дудникова, Е. А. Зенютин. – Текст : непосредственный – Н. Новгород : Нижегородский гос. техн. ун-т, 2001.

71. Вагин, Г.Я. Экономия энергии в промышленности / Г. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов. – Текст : непосредственный – Н. Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т, 1998.

72. Вагин, Г.Я. Методика технико-экономического обоснования внедрения ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования в промышленности / Г. Я. Вагин, Н. Н. Головкин, Е. Б. Солнцев, А. А. Лямин. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2005 – №6. С. 8–13.

73. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Издатель. ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ». Использование и

издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: Москомархитектура, 31.01.2001. – №8.

74. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Издания. ООО "СанТехПроект"; ОАО "СантехНИИпроект"; ООО ППФ "АК"; ООО "МАКСХОЛтехнолоджиз"; Третье монтажное управление; НИИМосстрой; ООО "Данфосс". Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054205> (дата обращения: 05.02.2021)

75. Информационное сообщение Банка России от 07.02.2020 "Банк России. Издания. Банк России. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_344856 (дата обращения: 30.03.2021)

76. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловых пунктов. Издания. Техническим комитетом Ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике (АВОК), Агентством по энергосбережению Правительства Москвы, Минстроем России, ВНИПИЭнергопромом Минтопэнерго России. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://beta.docs.cntd.ru/document/871001264> (дата обращения: 16.03.2021)

77. Свод правил. Тепловые сети. Издания. ОАО «ВНИПИЭнергопром». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095545> (дата обращения: 18.03.2021)

78. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование автономных источников теплоснабжения. Издания. ГПКНИИ «СантехНИИпроект», ГП ЦНС. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006878> (дата обращения: 24.03.2021)

79. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требование пожарной безопасности. Издания. ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ОАО «СантехНИИпроект». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200098833> (дата обращения: 26.03.2021)

80. Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Издания. МГСУ. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050> (дата обращения: 28.03.2021)

81. Свод правил. Общие здания и сооружения. Издания. ООО «Институт общественных зданий». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092705> (дата обращения: 29.03.2021)

82. Свод правил. Защита от шума. Издания. НИИСФ РААСН. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения: 02.04.2021)

83. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Издания. Министерством здравоохранения СССР, Всесоюзным Центральным Советом Профессиональных Союзов. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 04.02.2021)

84. Системы тепловых насосов. Инструкция по проектированию. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – Санкт-Петербург: Viessmann Werke GmbH&Co – Электронный ресурс URL: <http://forum.abok.ru/index.php?act=attach&type=post&id=19331> (дата обращения: 21.03.2021)

85. Национальный стандарт Российской Федерации. Здания и сооружения. Методы расчета продолжительности инсоляции. Издания. ФГБУ «НИИСФ

РААСН», ООО «ЦЕРЕРА-ЭКСПЕРТ». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157352> (дата обращения: 06.02.2021)

86. Штым, А.С. Создание микроклимата в жилых домах при использовании возобновляемых источников энергии / А.С. Штым, И.А. Журмилова, А.О. Калинин, Е.В. Тарасова, М.В. Потапова. – Текст : непосредственный // Сборник статей «Опыт эффективного использования энергетических ресурсов Дальнего Востока. (Научно-технический журнал, спец. выпуск). - М.: Горная книга. – 2014. - № 9421. - С. 111-119.

87. Полезная модель к патенту №85989 Российская Федерация, МПК E02D 1/00 (2006.01). Комбинированная система теплоснабжения: № 2009114999/22; заявлено 20.04.2009: опубликовано 20.08.2009 / Штым А.С., Хвостик П.Е., Журмилов А.А., Маркелова И.А., Путилина Е.О. Бюл. №23. – Текст : непосредственный.

88. Кадцын, И.И. Снижение потребления электроэнергии в геотермальных теплотрансформаторах / И.И. Кадцын, А.П. Стариков. – Текст : непосредственный // Повышение энергоэффективности объектов и систем теплоснабжения: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Омск. Омский гос. ун-т путей сообщения. – С. 138–145.

89. Кадцын, И.И. Инновационные способы применения геотермального отопления в несущих строительных конструкциях / И.И. Кадцын, А.П. Стариков. – Текст : непосредственный // Повышение энергоэффективности объектов и систем теплоснабжения: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Омск. Омский гос. ун-т путей сообщения. – С. 138–145.

90. Кадцын, И.И. Экономический анализ использования теплотрансформаторов на объектах ОАО «РЖД» в Сибирском федеральном округе/ И.И. Кадцын, А.П. Стариков. – Текст: непосредственный // Архитектура и строительство. – Омск. – 2020. № 4 (158). – С. 38–41.

91. Свод правил. Здания жилые многоквартирные. Издания. АО «ЦНИИЭП жилища». Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054198> (дата обращения: 26.03.2021)

92. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 года N 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с изменениями на 21 декабря 2020 года). Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <http://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 27.03.2021)

93. Национальный стандарт Российской Федерации. Возобновляемая энергетика. Установки солнечные термические и их компоненты. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105603> (дата обращения: 27.03.2021)

94. Чечерин, С.В. Анализ технологий отопления, вентиляции и кондиционирования для перехода на низкотемпературное теплоснабжение / Чечерин С.В. – Текст : непосредственный // Строительство: наука и образование – 2019 – том 9 вып. 3 – С. 1-20.

95. Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации №7581/ДВ/09 от 05.03.2019г. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: https://smetamds.ru/normativdocument/document.html?iddoc=Index_2019-01-kv2 (дата обращения: 28.03.2021)

96. Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации №1886-ИФ/09 от 22.01.2021г. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: – Электронный ресурс URL:http://www.krasgss.ru/files/indeks_minstroy_2kv2019.pdf (дата обращения: 28.03.2021)

97. Вагин, Г. Я. Методика технико-экономического обоснования внедрения ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования в промышленности / Г. Я. Вагин, Н. Н. Головкин, Е. Б. Солнцев, А. А. Лямин. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2005 – №6. С. 8–13.

98. Ильин, А.А. Экономика систем ТГСиВ: метод. указания / А.А. Ильин, Д.В. Попов. – Текст : непосредственный – Владивосток: ДВГТУ – 2007 – 54 с.

99. Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации №5414-ИФ/09 от 19.02.2020г. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <http://www.i-tat.ru/file/filemanag/962af6958e8b42ef3783a44dfb4a509a.pdf> (дата обращения: 29.03.2021)

100. Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации №5414-ИФ/09 от 19.02.2020г. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <http://www.i-tat.ru/file/filemanag/962af6958e8b42ef3783a44dfb4a509a.pdf> (дата обращения: 29.03.2021)

101. Кайнозойская эра. Издатель. Большая российская энциклопедия. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://bigenc.ru/geology/text/2034126> (дата обращения: 09.04.2021)

102. Криолитозона. Издатель. Большая российская энциклопедия. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://bigenc.ru/geology/text/2112313> (дата обращения: 09.04.2021)

103. Свод правил. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Издания. НИИОСП им. Н.М. Герсевича. Использование и издательское оформление. – Текст : непосредственный – М.: АО «Кодекс» – Электронный ресурс URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074910> (дата обращения: 10.04.2021)

104. Елистратов, С.Л. Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: дис. д-ра. техн. наук: 01.04.14 / Елистратов Сергей Львович. – Текст : непосредственный – Новосибирск, 2010 – 383 с.

105. Журмилова, И.А. Совершенствование систем тепло- и холодоснабжения зданий с применением грунтовых теплообменников: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Журмилова, Ирина Александровна. – Текст : непосредственный – Владивосток, 2016 – 155 с.

106. Карабарин, Д.И. Повышение эффективности утилизации низкопотенциальной энергии теплотехнологических установок: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Карабарин Денис Игоревич. – Текст : непосредственный – Красноярск, 2020 – 154 с.

107. Кобылкин, М.В. Повышение эффективности использования тепловых насосных установок в системах «ТЭЦ-Потребитель»: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.01 / Кобылкин Михаил Владимирович. – Текст : непосредственный – Иркутск, 2018 – 133 с.

108. Итоги Парижской конференции по изменению климата. – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://mgimo.ru/about/news/experts/itogi-parizhskoy-konferentsii-po-izmeneniyu-klimata/> (дата обращения: 18.04.2021)

109. Патент на изобретение №2529850 Российская Федерация, МПК F24J 3/08 (2006.01). Геотермальное устройство: №2013121639/06; заявлено 08.05.2013: опубликовано 10.10.2014 / Журмилова И.А., Захаров Г.А., Штым А.С., Савина Т.Г., Цыганкова К.В. Бюл. №28. – Текст : непосредственный.

110. Патент на изобретение №2739298 Российская Федерация, МПК F24T 10/15 (2018.01), F24T 10/30 (2018.01). Геотермальное устройство для водоупорных: №2019143011; заявлено 18.12.2019: опубликовано 22.12.2020 / Кадцын И.И., Стариков А.П. Бюл. №36. – Текст : непосредственный.

111. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. N 642 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации". – Текст : непосредственный – Электронный ресурс URL: <https://base.garant.ru/71551998/> (дата обращения: 18.04.2021)

112. Дучков, А.Д. Тепловой поток Сибири / А.Д. Дучков, Л.С. Соколова. – Текст : непосредственный // – Электронный ресурс URL: <https://docplayer.com/35447429-Teplovoy-potok-sibiri.html> (дата обращения: 12.05.2021)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2739298

ГЕОТЕРМАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВОДОУПОРНЫХ
ГРУНТОВ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования "Омский
государственный университет путей сообщения" (RU)*

Авторы: *Кадцын Иван Ильич (RU),
Стариков Александр Петрович (RU)*

Заявка № 2019143011

Приоритет изобретения 18 декабря 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 22 декабря 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 18 декабря 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 198052**Симметричная проставка для U-образного грунтового зонда**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Омский государственный университет путей сообщения" (RU)*

Авторы: *Кадцын Иван Ильич (RU),
Стариков Александр Петрович (RU)*

Заявка № 2019124075

Приоритет полезной модели 23 июля 2019 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 16 июня 2020 г.Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 23 июля 2029 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020611929

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ РЕГИСТРАТОР

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (RU)*

Авторы: *Кадцын Иван Ильич (RU), Стариков Александр Петрович (RU), Резанов Евгений Михайлович (RU)*

Заявка № 2020610813

Дата поступления 31 января 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 февраля 2020 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

АКТ

от 20 июля 2021 г.

г. Омск

Об использовании
результатов научных
исследований и разработок
в производстве

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального директора
Акционерного общества
«Федеральный научно-производственный
центр «Прогресс»,
к.т.н., лауреат премии правительства
РФ в области науки и техники

С.П. Бобров

«20» июля 2021 г.



Основание: Разработки Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), при личном участии к.т.н., зав. кафедрой «Теплоэнергетика» – Старикова А.П., к.т.н., доцента кафедры «Теплоэнергетика» – Резанова Е.М., аспиранта Кадцына И.И.

Технические решения по программе для ЭВМ «Геотермальный регистратор» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611929).

Разработка была выполнена в соответствии с темой диссертационной работы: «Улучшение эксплуатационных и технико-экономических характеристик геотермальных теплотрансформаторов за счет совершенствования устройства грунтовых зондов»

Составлен комиссией в составе:

Представители АО «ФНПЦ «Прогресс»:

- заместитель генерального директора — директор опытного производства, к.т.н – А.Ю. Кондюрин;
- главный инженер – Г.Н. Зубарев.

Представители ОмГУПС:

- зав. кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н. – А.П. Стариков;
- аспирант И.И. Кадцын.

Разработки ОмГУПС, характеризующиеся основными особенностями (признаками):

Разработанная программа для ЭВМ предназначена для мониторинга температуры для жилых, административных и производственных объектов. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: регистрирует в режиме реального времени, кроме того автоматической записи (каждые 360 минут), фактические показания термальных датчиков; записывает результаты данных на носитель информации, в текстовый документ расширением «txt» с указанием – даты, месяца, года, часа, минут, секунд и температуры каждого датчика; отображает (выводит) показания данных температуры (онлайн) на дисплей LCD в цифровом и текстовом виде.

2. Технико-экономическая эффективность:

Применение программы позволит обеспечить контроль мониторинга температурного режима производственных помещений и технологического оборудования.

3. Предложения о дальнейшем использовании и другие замечания:

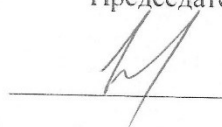
Конструкторско-технологическому отделу АО ФНПЦ «Прогресс» принять в рабочий процесс предложенную программу для ЭВМ.

Составлен в трех экземплярах:

1-й экземпляр – АО «ФНПЦ «Прогресс»;

2-й экземпляр – ОмГУПС, разработчику.

Председатель комиссии:

 С.П. Бобров

Члены комиссии:

 А.Ю. Кондюрин

 Г.Н. Зубарев

 А.П. Стариков

 И.И. Кадцын

АКТ

от 18 июня 2020 г.

г. Омск

Об использовании
результатов научных
исследований и разработок
в производстве

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель
генерального директора АО ОГРЭ»
Заслуженный геолог Российской Федерации
Кандидат геолого-минералогических наук



Ж.А. Доля

«18» июня 2020 г.

Основание: Разработки Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), при личном участии к.т.н., зав. кафедрой «Теплоэнергетика» – Старикова А.П., к.т.н., доцента кафедры «Теплоэнергетика» – Резанова Е.М., аспиранта Кадцына И.И.

Технические решения программы для ЭВМ «Геотермальный регистратор» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611929).

Разработка выполнена в соответствии с темой диссертационной работы: «Улучшение эксплуатационных и технико-экономических характеристик геотермальных теплотрансформаторов за счет совершенствования устройства грунтовых зондов»

Составлен комиссией в составе:

Представители АО «ОГРЭ»:

– первый заместитель генерального директора,
к.г.-м.н – Ж.А. Доля;

Представители ОмГУПС:

– зав. кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н. – А.П. Стариков;
– к.т.н., доцент кафедры «Теплоэнергетика» – Резанов Е.М.;
– аспирант И.И. Кадцын.

Разработки ОмГУПС, характеризующиеся основными особенностями (признаками):

Разработанная программа для ЭВМ предназначена для мониторинга температуры для жилых, административных и производственных объектов, а также для проведения инженерных изысканий (вода, почва). Программа обеспечивает выполнение следующих функций: регистрирует в режиме реального времени, фактические показания термальных датчиков; записывает результаты данных на носитель информации, в текстовый документ расширением «txt» с указанием – даты, месяца, года, часа, минут, секунд и температуры каждого датчика; отображает (выводит) показания данных температуры (онлайн) на дисплей LCD в цифровом и текстовом виде. Программа для ЭВМ принята к использованию при выполнении изыскательских работ и мониторинге температурного режима разведочных, эксплуатационных скважин в АО «ОГРЭ».

2. Технико-экономическая эффективность:

Применение программы позволит обеспечить контроль температурного режима разведочных, эксплуатационных скважин, выполнять мониторинг грунтового массива, подземных вод.

3. Предложения о дальнейшем использовании и другие замечания:

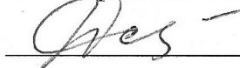
Принять в рабочий процесс предложенную программу для ЭВМ.

Составлен в трех экземплярах:

1-й экземпляр – АО «ОГРЭ»;

2-й экземпляр – ОмГУПС, разработчику.

Председатель комиссии:

 Ж.А. Доля

Члены комиссии:

 А.П. Стариков

 Е.М. Резанов

 И.И. Кадцын

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА»
(ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)**

190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19, тел: +7(812)251-76-01, факс: +7(812)713-01-14
info@vniim.ru, www.vniim.ru

Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц RA.RU.311541



ВНИИМ
им. Д.И. Менделеева

СВИДЕТЕЛЬСТВО
О ПОВЕРКЕ
№ H2413/ 2057-2020




Действительно до
« 27 » января 2021 г.

Средство измерений прибор для определения теплофизических параметров материалов KD2 Pro
наименование, тип, модификация средства измерений, регистрационный номер в Федеральном
информационном фонде по обеспечению единства измерений, присвоенный при утверждении типа

рег. № 58079-14

заводской номер (номера) KP 2429

в составе зонды: KS-1, № 01474; TR-1, № 01415; SH-1 № 01219, RK-1 № 01446

номер знака предыдущей поверки -

поверено в полном объеме
наименование единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений

в соответствии с МП-2413-0034-2014 «Приборы для определения теплофизических параметров
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

материалов KD2 Pro. Методика поверки»

с применением государственный рабочий эталон единицы теплопроводности рег. №
регистрационный номер (или) наименование, тип,

3.1.ZZB.0112.2015, границы относительной погрешности $\pm 3\%$, государственный рабочий эталон
заводской номер, разряд, класс или погрешность эталонов, применяемых при поверке

единицы удельной теплоемкости (3.1.ZZB.0113.2015), границы относительной погрешности $\pm 0,5\%$

при следующих значениях влияющих факторов: температура окружающей среды 20,1 °С,
перечень влияющих факторов,

относительная влажность 35,2 %, атмосферное давление 101,0 кПа
нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению
ненужное зачеркнуть

Знак поверки 

Руководитель отдела
Должность руководителя подразделения
или другого уполномоченного лица

Подпись

А.И. Походун
Инициалы, фамилия

Поверитель

Подпись

Н.В. Чурилина
Инициалы, фамилия

Дата поверки «28» января 2020 г.

серия Е № 006253



ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ	
СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ	
№ ТС	RU C-RU.MG07.B.00526
Серия RU	№ 0172628
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ Орган по сертификации взрывозащищенного и рудничного электрооборудования Акционерного общества «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» (ОС ВРЭ ВостНИИ). Место нахождения (адрес юридического лица) и адрес места осуществления деятельности: 650002, Россия, город Кемерово, улица Институтская, 3. Аттестат аккредитации № RA.RU.11MG07 от 02.12.2014. Номер телефона: +73842642462, адрес электронной почты: 642462@mail.ru.	
ЗАЯВИТЕЛЬ Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Эталон». Место нахождения (адрес юридического лица) и адрес места осуществления деятельности: Российская Федерация, 644009, город Омск, улица Лермонтова, дом 175. ОГРН 1035507032593. Номер телефона: +73812368400, адрес электронной почты: fgup@omsketalon.ru	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Эталон». Место нахождения (адрес юридического лица) и адрес места осуществления деятельности по изготовлению продукции: Российская Федерация, 644009, город Омск, улица Лермонтова, дом 175.	
ПРОДУКЦИЯ Датчики температуры многозонные цифровые МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении. МКСН.405226.001 ТУ «Датчики температуры многозонные цифровые МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении». Серийный выпуск. Смотри приложение к сертификату (бланки №№ 0129796, 0129797).	
КОД ТН ВЭД ТС 9025 90 000 8	
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах».	
СЕРТИФИКАТ ВЫДАН НА ОСНОВАНИИ Протокола № 30И-18 от 26.11.2018 Испытательного центра взрывозащищенного и рудничного электрооборудования, изделий и материалов Акционерного общества «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» (ИЦ ВостНИИ) (Аттестат аккредитации № RA.RU.21ГБ07), Акта ОС ВРЭ ВостНИИ о результатах анализа состояния производства изготовителя от 24.09.2018. Применена схема сертификации 1с.	
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Сведения о стандартах - смотри приложение к сертификату (бланк № 0129795). Условия и сроки хранения, срок службы – в соответствии с эксплуатационной документацией изготовителя.	
СРОК ДЕЙСТВИЯ С 30.11.2018	ПО 29.11.2023
ВКЛЮЧИТЕЛЬНО	
	Монахов Игорь Алексеевич (инициалы, фамилия) Князев Александр Сергеевич (инициалы, фамилия)
Руководитель (уполномоченное лицо) органа по сертификации Эксперт (эксперт-аудитор) (эксперты (эксперты-аудиторы))	(подпись) (подпись)

ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ

К СЕРТИФИКАТУ СООТВЕТСТВИЯ № ТС RU C- RU.MG07.B.00526 Лист 1

Серия RU № 0129795

Сведения о стандартах, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах»

Обозначение стандартов	Наименование стандартов
ГОСТ 31610.0-2014 (IEC 60079-0:2011)	Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования
ГОСТ 31610.11-2014 (IEC 60079-11:2011)	Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «i»
ГОСТ 31442-2011 (EN 50303:2000)	Оборудование группы I, уровень взрывозащиты Ма для применения в среде, опасной по воспламенению рудничного газа и/или угольной пыли
ГОСТ 31610.26-2016/IEC 60079-26:2014	Взрывоопасные среды. Часть 26. Оборудование с видом взрывозащиты оборудования Ga



Руководитель (уполномоченное
лицо) органа по сертификации

Эксперт (эксперт-аудитор)
(эксперты (эксперты-аудиторы))

(подпись)
(подпись)

Монахов
Игорь Алексеевич
(инициалы, фамилия)
Князев
Александр Сергеевич
(инициалы, фамилия)

ТАМОЖЕННЫЙ СОЮЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ

К СЕРТИФИКАТУ СООТВЕТСТВИЯ № ТС RU C- RU.MG07.B.00526 Лист 2

Серия RU № 0129796

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Датчики температуры многозонные цифровые МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении (далее – датчики) предназначены для одновременного измерения температуры в нескольких точках объекта, преобразования измеренного сигнала в цифровой вид и передачи его на устройство считывания, хранения и отображения данных.

Область применения датчиков – в подземных выработках угольных шахт и их наземных строениях, опасных по газу (метан) и (или) угольной пыли и во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок согласно маркировке взрывозащиты и ГОСТ IEC 60079-14-2011, регламентирующего применение электрооборудования во взрывоопасных зонах при обязательном соблюдении специальных условий применения, обусловленных наличием знака «X» после маркировки взрывозащиты и перечисленных в п. 5 настоящего Приложения и в Руководстве по эксплуатации.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Структура условного обозначения датчиков:

МЦДТ 0922-X-X-X-X-X Ex MKCH.405226.001TU

	Обозначение ТУ
	Взрывозащищенное исполнение
	PO Ex ia I Ma X/0Ex ia IIC T6 Ga X
	Вид климатического исполнения
	Длина измерительной зоны l , м
	Длина соединительного кабеля l_k , м
	Количество измерительных преобразователей N
	Тип маркировки измерительных преобразователей:
	1 – по длинам зон $L_1, L_2, \dots, L_{N-1}, M$;
	2 – по порядковому номеру
	Номер конструкции:
	1 – без армирующего элемента;
	2 – с армирующим элементом;
	Тип

Основные технические данные датчиков приведены в таблице.

Таблица

№ п/п	Наименование характеристик, параметров	Значение
1.	Степень защиты по ГОСТ 14254-2015	IP56
2.	Диапазон температуры окружающей среды, °C	от минус 50 до плюс 75
3.	Количество измерительных преобразователей (не более), шт	250
4.	Общая длина, м	120
5.	Искробезопасные входные параметры датчиков для группы I с маркировкой взрывозащиты PO Ex ia I Ma X:	
	– максимальное входное напряжение U_i , В	12
	– максимальный входной ток I_i , А	2
	– максимальная внутренняя емкость C_i , мкФ	28
	– максимальная внутренняя индуктивность L_i , мкГн	120
6.	Искробезопасные входные параметры датчиков для группы II с маркировкой взрывозащиты 0Ex ia IIC T6 Ga X:	
	– максимальное входное напряжение U_i , В	6
	– максимальный входной ток I_i , А	0,5
	– максимальная внутренняя емкость C_i , мкФ	28
	– максимальная внутренняя индуктивность L_i , мкГн	120



Руководитель (уполномоченное
лицо) органа по сертификации

Эксперт (эксперт-аудитор)
(эксперты (эксперты-аудиторы))

(подпись)

(подпись)

Монахов

Игорь Алексеевич

(инициалы, фамилия)

Князев

Александр Сергеевич

(инициалы, фамилия)

ПРИЛОЖЕНИЕ

Серия RU № 0129797

Уровень взрывозащиты датчиков (Ma и Ga) обеспечивается видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «ia» по ГОСТ 31610.11-2014 (IEC 60079-11:2011) «Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «i» и выполнением их конструкции в соответствии с требованиями ГОСТ 31610.0-2014 (IEC 60079-0:2011) «Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования», ГОСТ 31442-2011 (EN 50303:2000) «Оборудование группы I, уровень взрывозащиты Ma для применения в среде, опасной по воспламенению рудничного газа и/или угольной пыли», ГОСТ 31610.26-2016/IEC 60079-26:2014 «Взрывоопасные среды. Часть 26. Оборудование с видом взрывозащиты оборудования Ga», что подтверждено результатами испытаний.

- зарегистрированный товарный знак предприятия-изготовителя;
- наименование и конструктивное исполнение датчиков;
- рабочий диапазон измеряемых температур;
- заводской номер;
- дату изготовления;
- таблицу соответствия порядковых номеров измерительных преобразователей длинам зон датчиков;
- диапазон температуры окружающей среды;
- наименование органа по сертификации и номер сертификата;
- специальный знак взрывобезопасности по ТР ТС 012/2011 (Приложение 2);
- максимальные входные параметры электрических искробезопасных цепей U_i , I_i , C_i , L_i ;
- степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254-2015;
- маркировку взрывозащиты

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

- температура окружающей среды при эксплуатации датчиков должна быть в пределах от минус 50 °C до плюс 75 °C;
- запрещается нагрев датчиков до температуры выше плюс 100 °C и охлаждение ниже минус 50 °C;
- запрещается резкий нагрев и охлаждение датчиков;
- к искробезопасным электрическим цепям датчиков могут подключаться только искробезопасные цепи электрооборудования или искробезопасных электрических систем с соблюдением условий:

$$U_0 \leq U_i; I_0 \leq I_i; C_0 \leq C_i + C_c; L_0 \leq L_i + L_c; P_0 \leq P_i;$$
 где C_c и L_c – емкость и индуктивность соединительного кабеля, если иное не указано в сертификате и в эксплуатационной документации подключаемого искробезопасного электрооборудования или подключаемой искробезопасной системы.

Внесение изменений в конструкцию и (или) техническую документацию согласно п. 7 статьи 6
ТР ТС 012/2011.



Эксперт (эксперт-аудитор)
(эксперты (эксперты-аудиторы))

(инициалы, фамилия)
Князев
Александр Сергеевич
(инициалы, фамилия)

Акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли» (АО «НЦ ВостНИИ») ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ ВЗРЫВОЗАЩИЩЁННОГО И РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (ОС ВРЭ ВостНИИ)
650002, г. Кемерово, ул. Институтская, 3. Номер телефона: (3842)-642462, адрес электронной почты: 642462@mail.ru

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ
№ RA.RU.11MG07 от 02.12.2014

Р Е Ш Е Н И Е № 1
о подтверждении действия сертификата соответствия
№ TC RU C-RU.MG07.B.00526

«16» сентября 2020г.

г. Кемерово

В соответствии с п. 7 статьи 6 технического регламента Таможенного союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» **ОС ВРЭ ВостНИИ** рассмотрев письмо-заявку № 15/287 от 15.04.2020 (рег. № 29/6-ОС от 16.04.2020) и представленные обладателем сертификата Акционерным обществом «Научно-производственное предприятие «Эталон» (АО «НПП «Эталон»), г. Омск, материалы (извещения об изменении МКСН.55.1/2-20 от 21.04.2020, МКСН.55.2/2-20 от 21.04.2020 в 2 экз.; комплект измененных чертежей; измененные технические условия МКСН.405226.001 ТУ «Датчики температуры многозонные цифровые МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении»), а также на основании положительных результатов испытаний (протокол ИЦ ВостНИИ (Аттестат аккредитации № RA.RU.21ГБ07 от 09.12.2014) № 28И-20 от 15.09.2020)

П О С Т А Н О В Л Я Е Т

1. Датчики температуры многозонные цифровые МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении с внесенными изменениями в документацию и конструкцию соответствуют требованиям ТР ТС 012/2011, ГОСТ 31610.0-2014 (IEC 60079-0:2011), ГОСТ 31610.11-2014 (IEC 60079-11:2011).
2. Считать сертификат соответствия № TC RU C-RU.MG07.B.00526 подтвержденным с учетом внесенных изменений: степень защиты, обеспечиваемая оболочкой датчиков многозонных цифровых МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении по ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529-2013), стала IP68 вместо IP56.
3. Направить данное решение АО «НПП «Эталон», г. Омск.

Руководитель ОС ВРЭ ВостНИИ

И.А. Монахов

Эксперт ОС ВРЭ ВостНИИ

А.С.Князев



**РОССТАНДАРТ**

Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации,
метрологии и испытаний в Омской области»
[ФБУ «Омский ЦСМ»]
644116, г. Омск, ул. 24-я Северная, 117а

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о состоянии измерений в лаборатории

№ 056-ИЛ-19

Выдано «16» декабря 2019 г.

Действительно до «16» декабря 2022 г.

Настоящее заключение удостоверяет, что

грунтовая лаборатория

наименование лаборатории

644010, г. Омск, ул. 8 Марта, д.8, каб. 29

место нахождения лаборатории

ООО "Сибирская проектная компания"

наименование юридического лица

644010, г. Омск, ул. 8 Марта, д.8, каб. 29

юридический адрес юридического лица

имеет необходимые условия для выполнения измерений в области
деятельности согласно приложению.
Заключение оформлено по результатам проведенной метрологической
экспертизы.

Приложение: перечень объектов и контролируемых в них показателей на 1
листе.

И. о. директора ФБУ «Омский ЦСМ»

МП



УТВЕРЖДАЮ
Управляющий органом по аккредитации
ассоциации «Аналитика»

« 03 / » 02 2020 г.
И.В. Болдырев

Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

На 9 листах. Лист 1



Область аккредитации
Геокриологической лаборатории
Общества с ограниченной ответственностью «ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» (ООО «ГТС»)

Юридический адрес: 625048, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Харьковская, д. 57, корп. 3, кв. 22
Местонахождение лаборатории: 625047, г. Тюмень, мкр. Антипино, ул. Юности, д. 41

Раздел 1. Объекты контроля состава и свойств веществ

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
1	Грунты (дисперсные, мерзлые)	Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(>10) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(5 – 10) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(2 – 5) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(1 – 2) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(0,5 – 1) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3

Аналитика

Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 2

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(0,25 - 0,5) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(0,10 - 0,25) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(0,05 - 0,10) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(0,01 - 0,05) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(0,002 - 0,01) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.3
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав	(<0,002) мм (0-100) %	ГОСТ 12536-2014 п.4.3
		Влажность, в т.ч. между ледяных включений мерзлого грунта	(1,0-300,0) %	ГОСТ 5180-2015 п.5
		Влажность суммарная	(1,0-2000,0) %	ГОСТ 5180-2015 п.6
		Влажность на границе текучести	(1,0-100,0) %	ГОСТ 5180-2015 п.7
		Влажность на границе пластичности	(1,0-100,0) %	ГОСТ 5180-2015 п.8, Приложение К
		Плотность, в т.ч. мерзлого грунта	(0,1-3,0) г/см ³	ГОСТ 5180-2015 п.9, п.10, п.11
		Плотность скелета (сухого) грунта	(0,1-3,0) г/см ³	ГОСТ 5180-2015 п.12, ГОСТ 25100-2010
		Плотность частиц	(0,1-3,5) г/см ³	ГОСТ 5180-2015 п.13, п.14, Приложение Л
		Плотность максимальная сухого грунта при оптимальной влажности	(0,1-3,0) г/см ³	ГОСТ 22733-2016
		Коэффициент фильтрации	(0,00001-50,0) м/сут	ГОСТ 25584-2016



Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 3

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
		Угол естественного откоса	(1-90) градусы	РСН 51-84
		Содержание органических веществ	(0,01-99,99) %	ГОСТ 23740-2016
		Удельное сцепление, в т.ч. оттаивающих грунтов	(1-1000) кПа	ГОСТ 12248-2010 п.5.1, п.5.3, п.6.5
		Угол внутреннего трения, в т.ч. оттаивающих грунтов	(1-60) градусы	ГОСТ 12248-2010 п.5.1, п.5.3, п.6.5
		Прочность на одноосное сжатие, в т.ч. мерзлого грунта	(0,1-500,0) МПа	ГОСТ 12248-2010 п.5.2, п.6.3
		Сопротивление недренированному сдвигу	(1-1000) кПа	ГОСТ 12248-2010 п.5.3
		Коэффициент консолидации	(0,001-10,000) см ² /мин	ГОСТ 12248-2010 п.5.3
		Модуль деформации, в т.ч. мерзлого грунта	(0,1-200,0) МПа	ГОСТ 12248-2010 п.5.3, п.5.4, п.6.3
		Коэффициент поперечной деформации	(0,1-1,0)	ГОСТ 12248-2010 п.5.3
		Коэффициент сжимаемости, в т.ч. мерзлого грунта	(0,001-1,000) МПа ⁻¹	ГОСТ 12248-2010 п.5.4, п.6.4
		Относительное суффозионное сжатие	(0,001-1,000)	ГОСТ 12248-2010 п.5.5
		Начальное давление суффозионного сжатия	(0,01-1000,00) кПа	ГОСТ 12248-2010 п.5.5
		Относительная деформация просадочности	(0-10) д.е.	ГОСТ 23161-2012, ГОСТ 12248-2010 п.5.5
		Относительная деформация набухания (свободного, под нагрузкой)	(0-10) д.е.	ГОСТ 12248-2010 п.5.6
		Относительная усадка	(0,001-10,000)	ГОСТ 12248-2010 п.5.6
		Предельно длительное значение эквивалентного сцепления	(0,001-500,000) кПа	ГОСТ 12248-2010 п.6.1
		Сопротивление срезу по поверхности смерзания	(1-1000) кПа	ГОСТ 12248-2010 п.6.2
		Коэффициент поперечного расширения	(0,001-1,000)	ГОСТ 12248-2010 п.6.3
		Коэффициент нелинейной деформации	(1-10000) МПа	ГОСТ 12248-2010 п.6.3
		Коэффициент вязкости	(1-10000) МПа·с	ГОСТ 12248-2010 п.6.3
		Коэффициент оттаивания	(0,001-1,000)	ГОСТ 12248-2010 п.6.4



Приложение К
Продолжение

Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 4

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
		Коэффициент сжимаемости при оттаивании	(0,001-1,000) МПа ⁻¹	ГОСТ 12248-2010 п.6.4
		Сопротивление срезу оттаивающих грунтов	(1-1000) кПа	ГОСТ Р 53582-2009,
		Удельная касательная сила пучения	(0,01-1000,00) кПа	ГОСТ Р 56726-2015
		Степень пучинистости	(0,1-20,0) %	ГОСТ 28622-2012
		Теплопроводность, в т.ч. мерзлых грунтов	(0,1-4,0) Вт/мК	ГОСТ 26263-84, Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов, Стройиздат, 1973
		Теплоемкость, в т.ч. мерзлых грунтов	(0,1-4,0) Дж/м ³ °С	Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов, Стройиздат, 1973
		Температура начала замерзания	(0,00- -10,00) °С	Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов, Стройиздат, 1973
		Удельное электрическое сопротивление	(1-2000) Ом·м	ГОСТ 9.602-2016
		Зольность	(0,01-99,00) %	ГОСТ 11306-2013, п. 6, 7
		Степень разложения торфа	(0,1-100,0) %	ГОСТ 10650-2013
2	Торф	Массовая доля влаги	(1,0-90,0) %	ГОСТ 11305-2013, п. 6

А.А.А.А.А.

Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 5

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
3	Горные породы, Грунты скальные и крупнообломочные, Строительные материалы (бетоны, растворы, смеси, грунты, песок, щебень, гравий и др.)	Зерновой состав	(>300) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(300-200) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(200-150) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(150-120) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(120-110) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(110-100) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(100-80) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(80-60) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(60-50) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(50-40) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(40-30) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(30-25) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(25,0-22,5) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3

Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 6

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
		Зерновой состав	(22,5-20,0) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(20,0-17,5) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(17,5 - 15,0) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(15,0 - 12,5) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(12,5 - 10,0) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
		Зерновой состав	(10,0 - 7,5) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3, ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(7,5 - 5,0) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3, ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(5,0 - 2,5) мм (0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3, ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(2,50-1,25) мм (0-100) %	ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(1,25-0,63) мм (0-100) %	ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(0,630-0,315) мм (0-100) %	ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(0,315-0,160) мм (0-100) %	ГОСТ 8735-88 п.3
		Зерновой состав	(0,160-0,050) мм (0-100) %	ГОСТ 8735-88 п.3



Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 7

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
		Зерновой состав	(<0,050) мм (0-100) %	ГОСТ 8735-88 п.3
		Содержание пылевидных и глинистых частиц	(0,1-100,0) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.5, ГОСТ 8735-88 п.5.1, п.5.3, п.14
		Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм	(0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.7
		Содержание зерен слабых и выветрелых пород	(0-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.9
		Дробимость	(1-100) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.8
		Истираемость	(1-100) %	ГОСТ 8269.0-97
		Морозостойкость	(1-100) циклы	ГОСТ 8269.0-97 п.4.12, ГОСТ 10060-2012, ГОСТ 5802-86 п.10
		Органические примеси	(0,01-99,99) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.14, ГОСТ 8735-88 п.6
		Плотность истинная	(0,1-3,5) г/см ³	ГОСТ 8269.0-97 п.4.15, ГОСТ 8735-88 п.8.1, п.8.2
		Плотность средняя	(0,1-3,5) г/см ³	ГОСТ 8269.0-97 п.4.16, ГОСТ 5802-86 п.7
		Плотность насыпная	(0,1-2,0) г/см ³	ГОСТ 8269.0-97 п.4.17, ГОСТ 8735-88 п.9.1
		Влажность	(1,0-200,0) %	ГОСТ 8269.0-97 п.4.19, ГОСТ 8735-88 п.10, ГОСТ 5802-86 п.8
		Водопоглощение	(0,1-1,0) д.е.	ГОСТ 8269.0-97 п.4.18
		Прочность на сжатие	(0,001-500,00) МПа	ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 21153.8-88, ГОСТ 21153.2-84,



Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 8

№ поз.	Объект аналитического контроля (испытаний)	Определяемая характеристика	Диапазон определения	Обозначение НД на метод (методику) испытаний (измерения, анализа)
1	2	3	4	5
4	Водная вытяжка из почв и грунтов	Прочность на растяжение	(0,001-500,00) МПа	ГОСТ 5802-86 п.6
		Прочность на растяжение при изгибе	(0,001-500,00) МПа	ГОСТ 21153.3-85
		Удельная электрическая проводимость	(0,1-20,0) мСм/см	ГОСТ 10180-2012
		Водородный показатель (рН)	(1-14) ед. рН	ГОСТ 26423-85, 4.3
		Массовая доля плотного остатка	(0,1-30,0) %	ГОСТ 26423-85, 4.5
		Хлориды	(0,5-50,0) ммоль/100 г	ГОСТ 26425-85, п. 2, 3
		Сульфаты	(0,5-20,0) ммоль/100 г	ГОСТ 26426-85, п. 2
		Кальций и магний	(0,5-20,0) ммоль/100г	ГОСТ 26428-85, п. 2
		Хлориды	(10,0-5000,0) мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3.96-97
		Сухой остаток	(10-1000) мг/дм ³	ГОСТ 18164-72
5	Вода природная	Железо общее	(0,05-100,0) мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
		Сульфаты	(10,0-5000,0) мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.159-2000
		Нитраты	(0,1-100,0) мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95
		Карбонаты и гидрокарбонаты	(6,0-6000,0) мг/дм ³	ГОСТ 31957-2012, п. 5.3 (метод А.1)
		Водородный показатель (рН)	(1-14) ед. рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
		Кальций	(1,0-100,0) мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.95-97
		Агрессивная углекислота (CO ₂)	(0,01-1,00) мг/дм ³	РД 153-34.2-21.544-2002



Приложение к аттестату аккредитации
№ ААС.А.00311
от 03.02.2020

Лист 9

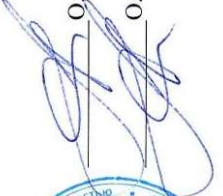
Раздел 2. Объекты по отбору проб, пробоподготовке (изготовлению образцов) и идентификации

1 Объект аналитических работ (испытаний)	2 Вид работ (отбор проб, подготовка проб, идентификация и др.)	4 Обозначение документа на методику аналитических работ
Грунты (скальные, дисперсные, мерзлые), грунтовые и строительные материалы	Отбор, упаковка, транспортирование и хранение проб	ГОСТ 12071-2014
Вода природная	Отбор, транспортирование и хранение проб	ГОСТ 31861-2012
Конец раздела 2		

Конец области аккредитации

Директор ООО «ГТС»

Заведующий Геокриологической лабораторией



О.О. Паньков

О.О. Паньков

А.А.А.А.А.А.

Результаты физико-механических свойств исследуемых грунтов

№№/пп	№ типа Исследуемых образцов	Глубина, интервал опробования, м	Естественная влажн., д.ед	Пределы пластичности, д.ед.			Показатель текучести, д.ед.	Плотность, г/см3			Коэффициент пористости, д.ед.	Пористость, %	Коэффициент водонасыщения, д.ед.
				предел текучести	предел раскатывания	число пластичности		в естественном сложении	сухого грунта	частиц грунта			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Супесь твердая													
1		5,2	0,147	0,21	0,18	0,024	-1,50	2,13	1,86	2,69	0,449	30,97	0,88
2		6,0	0,153	0,21	0,19	0,02	-2,31	2,16	1,87	2,69	0,436	30,36	0,94
3		6,5	0,148	0,20	0,19	0,02	-2,18	2,15	1,87	2,69	0,436	30,38	0,91
4		6,8	0,150	0,21	0,19	0,02	-1,76	2,14	1,86	2,69	0,45	30,8	0,91
5		8,0	0,151	0,21	0,19	0,02	-2,05	2,16	1,88	2,69	0,43	30,2	0,94
6		5,0	0,148	0,20	0,19	0,02	-2,24	2,13	1,86	2,69	0,45	31,0	0,89
7		5,8	0,150	0,21	0,19	0,02	-2,00	2,17	1,89	2,69	0,43	29,9	0,95
8		6,2	0,145	0,21	0,19	0,02	-2,75	2,13	1,86	2,69	0,45	30,8	0,87
9		6,5	0,152	0,20	0,19	0,01	-3,64	2,18	1,89	2,69	0,422	29,65	0,97
10		7,5	0,150	0,21	0,18	0,03	-1,26	2,15	1,87	2,69	0,439	30,50	0,92
Количество проб			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,149	0,21	0,19	0,02	-2,17	2,15	1,87	2,69	0,44	30,5	0,918
Супесь пластичная													
1	2	4,0	0,200	0,22	0,17	0,050	0,60	2,11	1,76	2,69	0,530	34,63	1,02
2		4,7	0,195	0,22	0,17	0,05	0,54	2,11	1,77	2,69	0,523	34,36	1,00
3		5,2	0,190	0,22	0,16	0,06	0,47	2,08	1,75	2,69	0,539	35,02	0,95
4		5,8	0,188	0,21	0,16	0,05	0,57	2,09	1,76	2,69	0,53	34,6	0,96
5		6,5	0,200	0,22	0,17	0,05	0,57	2,11	1,76	2,69	0,53	34,6	1,02
6		4,5	0,192	0,22	0,17	0,05	0,51	2,12	1,78	2,69	0,51	33,9	1,01
7		5,0	0,197	0,22	0,17	0,05	0,54	2,10	1,75	2,69	0,53	34,8	0,99
8		5,8	0,202	0,21	0,17	0,04	0,73	2,08	1,73	2,69	0,55	35,7	0,98
9		6,2	0,200	0,23	0,16	0,06	0,60	2,10	1,75	2,69	0,537	34,94	1,00
10		7,0	0,193	0,21	0,17	0,04	0,64	2,08	1,74	2,69	0,543	35,19	0,96
Количество проб			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,196	0,22	0,17	0,05	0,58	2,10	1,75	2,69	0,53	34,8	0,988
Супесь текучая													
1	3	5,8	0,180	0,17	0,13	0,040	1,25	2,04	1,73	2,69	0,556	35,73	0,87
2		6,2	0,172	0,16	0,12	0,04	1,27	2,04	1,74	2,69	0,545	35,29	0,85
3		6,5	0,185	0,18	0,12	0,05	1,19	2,02	1,70	2,69	0,578	36,63	0,86
4		7,0	0,180	0,17	0,13	0,04	1,18	2,03	1,72	2,69	0,56	36,0	0,86
5		7,7	0,170	0,16	0,13	0,03	1,25	2,04	1,74	2,69	0,54	35,2	0,84
6		6,0	0,165	0,16	0,12	0,04	1,19	2,03	1,74	2,69	0,54	35,2	0,82

7		6,8	0,173	0,16	0,12	0,04	1,26	2,02	1,72	2,69	0,56	36,0	0,83
8		7,5	0,179	0,16	0,13	0,04	1,54	2,03	1,72	2,69	0,56	36,0	0,86
9		8,0	0,185	0,18	0,13	0,05	1,22	2,02	1,70	2,69	0,578	36,63	0,86
10		8,5	0,180	0,17	0,12	0,05	1,23	2,03	1,72	2,69	0,564	36,05	0,86
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,177	0,17	0,12	0,04	1,26	2,03	1,72	2,69	0,56	35,9	0,850	
Глина твердая													
1	4	9,5	0,120	0,370	0,180	0,190	0,00	2,01	1,79	2,75	0,530	34,64	0,62
2		10,0	0,125	0,380	0,170	0,21	0,00	2,01	1,79	2,75	0,530	34,64	0,62
3		11,0	0,120	0,370	0,192	0,18	0,00	2,00	1,77	2,75	0,520	34,21	0,63
4		12,2	0,118	0,390	0,170	0,22	0,00	2,01	1,78	2,75	0,54	35,1	0,63
5		13,0	0,120	0,390	0,185	0,21	0,00	1,99	1,75	2,75	0,54	35,1	0,62
6		10,0	0,123	0,380	0,175	0,21	0,00	2,00	1,78	2,75	0,53	34,6	0,62
7		10,7	0,117	0,370	0,185	0,19	0,00	1,99	1,76	2,75	0,52	34,2	0,62
8		11,5	0,110	0,390	0,170	0,22	0,00	2,02	1,79	2,75	0,54	35,1	0,62
9		12,0	0,115	0,380	0,190	0,19	0,00	2,01	1,77	2,75	0,540	35,06	0,63
10		12,5	0,123	0,370	0,182	0,19	0,00	2,00	1,76	2,75	0,530	34,64	0,63
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,119	0,38	0,18	0,20	0,00	2,00	1,77	2,75	0,53	34,7	0,624	
Глина полутвердая													
1	5	21,8	0,216	0,41	0,22	0,188	-0,03	2,01	1,65	2,75	0,664	39,89	0,90
2		23,8	0,220	0,42	0,23	0,19	-0,04	2,00	1,64	2,75	0,678	40,39	0,89
3		24,5	0,225	0,45	0,23	0,23	0,00	2,00	1,63	2,75	0,684	40,63	0,90
4		26,0	0,226	0,46	0,23	0,23	-0,04	2,00	1,63	2,75	0,69	40,7	0,91
5		29,8	0,224	0,47	0,19	0,28	0,12	2,02	1,65	2,75	0,67	40,0	0,92
6		23,0	0,212	0,46	0,21	0,25	0,02	2,01	1,66	2,75	0,66	39,7	0,89
7		25,5	0,218	0,43	0,21	0,22	0,03	2,00	1,64	2,75	0,67	40,3	0,89
8		27,0	0,227	0,45	0,23	0,23	0,01	2,02	1,65	2,75	0,67	40,1	0,93
9		28,0	0,229	0,45	0,20	0,25	0,10	2,00	1,63	2,75	0,690	40,82	0,91
10		29,0	0,227	0,47	0,19	0,28	0,13	1,98	1,61	2,75	0,704	41,32	0,89
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,222	0,45	0,21	0,23	0,03	2,00	1,64	2,75	0,68	40,4	0,903	
Глина тугопластичная													
1	6	22,0	0,250	0,42	0,15	0,270	0,37	1,96	1,57	2,75	0,754	42,98	0,91
2		23,2	0,242	0,42	0,14	0,28	0,36	1,97	1,59	2,75	0,734	42,32	0,91
3		24,5	0,248	0,43	0,15	0,28	0,35	1,97	1,58	2,75	0,742	42,60	0,92
4		25,0	0,253	0,43	0,16	0,27	0,35	1,97	1,57	2,75	0,75	42,8	0,93
5		26,8	0,250	0,41	0,15	0,27	0,40	1,96	1,57	2,75	0,75	43,0	0,91
6		22,5	0,255	0,40	0,15	0,25	0,42	1,99	1,59	2,75	0,73	42,3	0,95
7		24,2	0,249	0,42	0,14	0,28	0,38	1,98	1,59	2,75	0,73	42,4	0,93
8		25,8	0,240	0,42	0,14	0,28	0,36	1,96	1,58	2,75	0,74	42,5	0,89
9		26,5	0,247	0,41	0,15	0,26	0,37	1,97	1,58	2,75	0,741	42,55	0,92
10		28,0	0,243	0,40	0,15	0,25	0,36	1,97	1,58	2,75	0,735	42,37	0,91
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,248	0,42	0,15	0,27	0,37	1,97	1,58	2,75	0,74	42,6	0,918	

Глина мягкопластичная													
1	7	10,0	0,340	0,42	0,22	0,200	0,60	1,89	1,41	2,69	0,907	47,57	1,01
2		10,7	0,330	0,44	0,20	0,24	0,54	1,90	1,43	2,69	0,883	46,89	1,01
3		11,5	0,350	0,42	0,20	0,22	0,68	1,91	1,41	2,69	0,901	47,40	1,04
4		12,2	0,320	0,41	0,22	0,20	0,54	1,90	1,44	2,69	0,87	46,5	0,99
5		13,0	0,350	0,43	0,21	0,22	0,64	1,92	1,42	2,69	0,89	47,1	1,06
6		10,5	0,340	0,42	0,23	0,19	0,58	1,90	1,42	2,69	0,90	47,3	1,02
7		11,2	0,320	0,41	0,22	0,20	0,54	1,93	1,46	2,69	0,84	45,6	1,03
8		12,0	0,330	0,44	0,21	0,23	0,53	1,94	1,46	2,69	0,84	45,8	1,05
9		12,5	0,350	0,42	0,23	0,19	0,63	1,90	1,41	2,69	0,911	47,68	1,03
10		13,0	0,340	0,44	0,21	0,23	0,57	1,90	1,42	2,69	0,897	47,29	1,02
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,337	0,43	0,21	0,21	0,59	1,91	1,43	2,69	0,88	46,9	1,025	
Суглинок твердый													
1	8	9,5	0,126	0,300	0,160	0,140	0,00	2,05	1,81	2,72	0,490	32,89	0,71
2		10,0	0,125	0,290	0,152	0,14	0,00	2,03	1,80	2,72	0,490	32,89	0,68
3		11,0	0,130	0,300	0,150	0,15	0,00	2,05	1,81	2,72	0,490	32,89	0,73
4		12,5	0,135	0,310	0,165	0,15	0,00	2,04	1,79	2,72	0,51	33,8	0,74
5		13,0	0,130	0,320	0,158	0,16	0,00	2,05	1,80	2,72	0,50	33,3	0,74
6		10,5	0,125	0,300	0,163	0,14	0,00	2,04	1,81	2,72	0,49	32,9	0,63
7		11,0	0,132	0,290	0,157	0,13	0,00	2,02	1,78	2,72	0,50	33,3	0,70
8		11,5	0,128	0,310	0,152	0,16	0,00	2,03	1,78	2,72	0,49	32,9	0,70
9		12,0	0,130	0,300	0,150	0,15	0,00	2,05	1,80	2,72	0,490	32,89	0,74
10		12,7	0,131	0,320	0,160	0,16	0,00	2,04	1,78	2,72	0,510	33,77	0,73
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,129	0,30	0,16	0,15	0,00	2,04	1,80	2,72	0,50	33,2	0,710	
Суглинок полутвердый													
1	9	6,0	0,120	0,260	0,120	0,140	0,07	2,02	1,79	2,72	0,520	34,19	0,63
2		6,8	0,125	0,276	0,125	0,15	0,07	2,02	1,78	2,72	0,520	34,21	0,70
3		7,2	0,120	0,280	0,130	0,15	0,07	2,00	1,75	2,72	0,530	34,64	0,62
4		8,0	0,143	0,295	0,138	0,16	0,09	2,02	1,75	2,72	0,53	34,6	0,73
5		9,0	0,145	0,290	0,142	0,15	0,02	1,99	1,73	2,72	0,52	34,2	0,71
6		6,5	0,135	0,268	0,130	0,14	0,04	2,01	1,77	2,72	0,52	34,2	0,69
7		7,0	0,125	0,270	0,120	0,15	0,03	2,00	1,77	2,72	0,53	34,6	0,66
8		7,5	0,125	0,285	0,128	0,16	-0,02	2,02	1,77	2,72	0,52	34,2	0,65
9		8,5	0,135	0,290	0,142	0,15	-0,05	1,99	1,75	2,72	0,540	35,06	0,71
10		9,2	0,135	0,300	0,130	0,17	0,03	2,00	1,76	2,72	0,520	34,21	0,71
Количество проб		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение		0,131	0,28	0,13	0,15	0,04	2,01	1,76	2,72	0,52	34,4	0,681	
Суглинок тугопластичный													
1	10	1,0	0,163	0,22	0,14	0,086	0,29	2,01	1,73	2,72	0,574	36,46	0,77
2		1,5	0,208	0,27	0,16	0,11	0,46	2,02	1,67	2,72	0,627	38,52	0,90
3		2,0	0,170	0,25	0,13	0,13	0,34	2,00	1,71	2,72	0,591	37,15	0,78
4		2,5	0,200	0,29	0,16	0,13	0,31	2,02	1,68	2,72	0,62	38,1	0,88
5		3,0	0,265	0,33	0,20	0,13	0,50	1,99	1,57	2,72	0,73	42,2	0,99
6		3,5	0,240	0,30	0,19	0,11	0,46	2,00	1,61	2,72	0,69	40,7	0,95
7		1,5	0,172	0,24	0,14	0,11	0,35	2,00	1,71	2,72	0,59	37,3	0,79

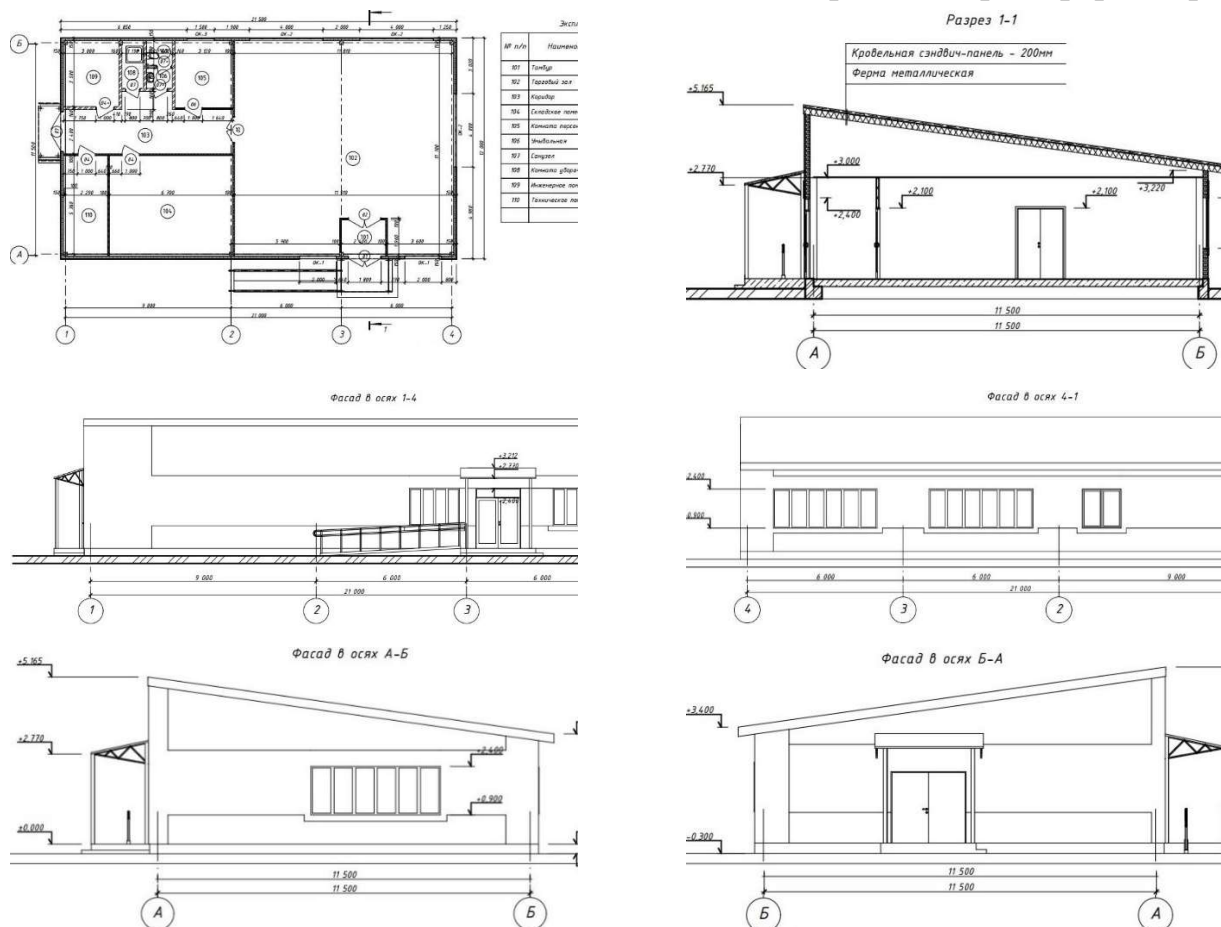
Приложение Л
продолжение

8	10	2,8	0,177	0,23	0,15	0,08	0,35	2,01	1,71	2,72	0,59	37,2	0,81
9		4,5	0,195	0,28	0,16	0,12	0,32	1,99	1,67	2,72	0,633	38,78	0,84
10		5,3	0,226	0,33	0,18	0,15	0,30	1,99	1,62	2,72	0,676	40,32	0,91
Количество проб			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,202	0,27	0,16	0,11	0,37	2,00	1,67	2,72	0,63	38,7	0,863
Суглинок мягкопластичный													
1	11	1,0	0,222	0,27	0,15	0,120	0,60	1,89	1,55	2,72	0,780	43,82	0,77
2		2,0	0,238	0,27	0,16	0,11	0,71	1,88	1,52	2,72	0,790	44,13	0,82
3		3,0	0,238	0,28	0,17	0,11	0,62	1,89	1,53	2,72	0,710	41,52	0,91
4		3,5	0,230	0,27	0,17	0,11	0,60	1,90	1,54	2,72	0,76	43,2	0,82
5		4,0	0,220	0,27	0,15	0,12	0,58	1,89	1,55	2,72	0,76	43,0	0,79
6		1,5	0,240	0,28	0,16	0,12	0,67	1,89	1,52	2,72	0,78	44,0	0,83
7		2,5	0,231	0,28	0,17	0,11	0,59	1,90	1,54	2,72	0,76	43,3	0,82
8		3,0	0,240	0,28	0,17	0,11	0,64	1,87	1,51	2,72	0,80	44,6	0,81
9		3,5	0,225	0,27	0,16	0,12	0,58	1,88	1,53	2,72	0,790	44,13	0,77
10		4,0	0,220	0,27	0,16	0,11	0,55	1,87	1,53	2,72	0,780	43,82	0,77
Количество проб			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,230	0,27	0,16	0,11	0,61	1,89	1,53	2,72	0,77	43,5	0,81
Суглинок текучепластичный													
1	12	5,5	0,245	0,270	0,170	0,100	0,80	2,00	1,60	2,72	0,700	41,18	0,97
2		6,0	0,255	0,280	0,170	0,11	0,84	1,98	1,57	2,72	0,710	41,52	0,97
3		6,8	0,250	0,275	0,164	0,11	0,85	1,99	1,58	2,72	0,700	41,18	0,97
4		7,2	0,260	0,287	0,157	0,13	0,79	2,00	1,59	2,72	0,71	41,5	0,98
5		8,0	0,260	0,300	0,160	0,14	0,76	2,01	1,59	2,72	0,71	41,5	0,98
6		5,0	0,250	0,280	0,152	0,13	0,80	1,98	1,58	2,72	0,70	41,2	0,96
7		5,8	0,260	0,275	0,170	0,11	0,86	2,00	1,59	2,72	0,71	41,5	0,98
8		6,2	0,260	0,300	0,160	0,14	0,76	1,99	1,57	2,72	0,71	41,5	0,97
9		7,0	0,250	0,280	0,158	0,12	0,78	2,00	1,60	2,72	0,700	41,18	0,98
10		7,5	0,250	0,290	0,155	0,14	0,78	2,00	1,59	2,72	0,710	41,52	0,98
Количество проб			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,25	0,28	0,16	0,12	0,80	2,00	1,59	2,72	0,71	41,4	0,974
Песок пылеватый													
1	13	15,5	0,140					2,13	1,87	2,67	0,43	30,02	0,87
2		16,0	0,142					2,11	1,85	2,67	0,45	30,80	0,82
3		16,7	0,137					2,10	1,85	2,67	0,45	30,83	0,82
4		17,5	0,135					2,12	1,87	2,67	0,43	30,0	0,84
5		18,2	0,140					2,12	1,86	2,67	0,44	30,4	0,86
6		16,0	0,145					2,10	1,83	2,67	0,46	31,3	0,85
7		17,2	0,138					2,12	1,86	2,67	0,43	30,2	0,85
8		18,0	0,148					2,11	1,84	2,67	0,45	31,2	0,87
9		18,7	0,150					2,12	1,84	2,67	0,790	44,13	0,51
10		19,5	0,149					2,10	1,83	2,67	0,780	43,82	0,51
Количество проб			10	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,142	0	0	0	0	2,11	1,85	2,67	0,51	33,3	0,78
Песок мелкий													
1	14	1,0	0,155					2,01	1,74	2,67	0,780	43,82	0,53

Приложение Л
окончание

2	14	2,0	0,167					2,00	1,71	2,67	0,790	44,13	0,82
3		3,0	0,169					1,99	1,70	2,67	0,710	41,52	0,64
4		3,5	0,165					2,02	1,73	2,67	0,54	35,1	0,82
5		4,0	0,155					2,00	1,73	2,67	0,54	35,1	0,76
6		1,5	0,162					2,01	1,73	2,67	0,54	35,2	0,80
7		2,5	0,152					2,00	1,74	2,67	0,54	35,0	0,75
8		3,0	0,165					2,01	1,73	2,67	0,55	35,4	0,80
9		3,5	0,160					1,99	1,72	2,67	0,790	44,13	0,54
10		4,0	0,163					2,02	1,74	2,67	0,780	43,82	0,56
Количество проб			10	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10
Среднее значение			0,161	0	0	0	0	2,01	1,73	2,67	0,66	39,3	0,70

Исходные данные для выполнения подбора теплотрансформатора



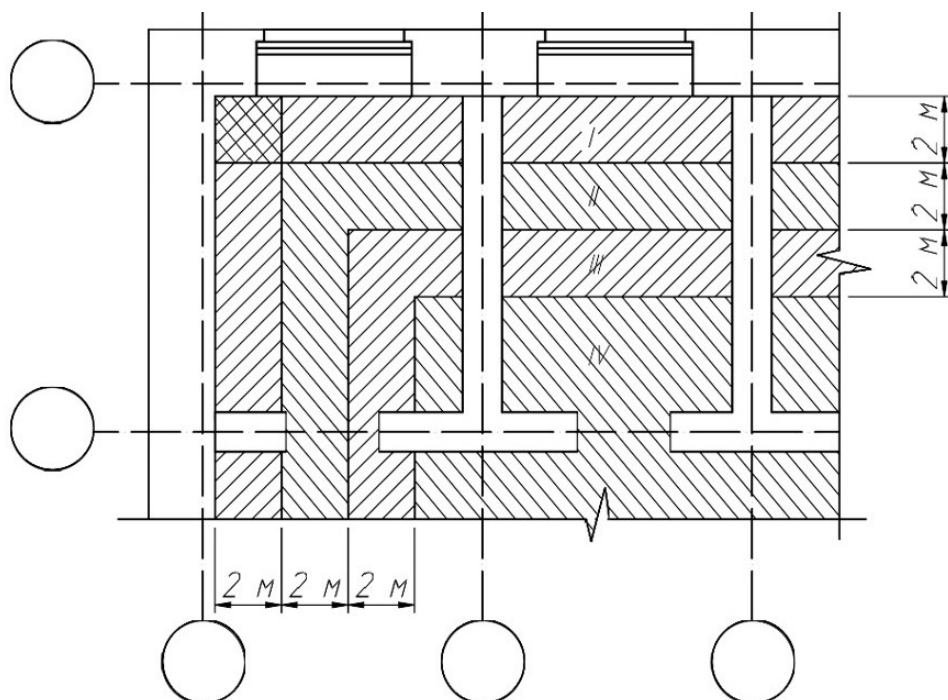
Исходные данные:

1. Район строительства – в соответствии с техническим заданием на проектирование;
2. Ориентация здания – в соответствии с «Проектом организации земельного участка»;
3. Заполнение оконных – размеры и характеристики в комплекте проектной документации – «Архитектурные решения»;
4. Заполнение дверных проемов – размеры и характеристики в комплекте проектной документации – «Архитектурные решения»;
5. Наружные стены – размеры и характеристики в комплекте проектной документации – «Архитектурные решения»;
6. Внутренние стены – размеры и характеристики в комплекте проектной документации – «Архитектурные решения»;
7. Отопительные приборы – в соответствии с техническим заданием на проектирование;
8. Подвал – в соответствии с техническим заданием на проектирование или комплекта проектной документации – «Архитектурные решения».

Правила обмера поверхностей ограждающих конструкций

а) определение геометрических размеров ограждающих конструкций в

плане:



б) определение геометрических размеров зон при расчете теплопотерь через полы по грунту:

