

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертационную работу**  
**Кадцына Ивана Ильича**  
**«Улучшение эксплуатационных и технико-экономических**  
**характеристик геотермальных теплотрансформаторов»,**  
**представленную на соискание ученой степени кандидата**  
**технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная**  
**теплоэнергетика»**

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

**Структура 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.

**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.

**В первой главе** приведен анализ производства теплотрансформаторов на территории России. Приведен Обзор применения грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию для отопления, холодоснабжения, горячего водоснабжения зданий и сооружений. Рассмотрены виды грунтовых зондов, использующих низкопотенциальную энергию земли.

**Во второй главе** по результатам выполненных лабораторных исследований составлена ведомость средних результатов по физическо-механическим и теплофизическим характеристикам грунтов, а именно: влажность грунта, пористость грунта, плотность частиц грунта, коэффициент теплопроводности, объемная плотность частиц грунта. По полученным результатам лабораторных исследований сформирована ведомость показателей физико-механических и теплофизических характеристик исследованных разновидностей грунтов по ГОСТ 25100–2011.

**В третьем разделе** сформированы и проанализированы результаты изучения температурного режима скважин в период с 01.11.2020 по

27.02.2021, установлены величины нейтральной зоны грунта, в зависимости от влияния солнечной радиации. Нейтральная зона грунта – максимальная глубина влияния солнечной радиации, после прохождения которой температура грунтового массива не уменьшается.

На основании апробации выполненных работ по исследованию грунтового массива, при помощи комплекта ЛЦД-1/100-РМ с термокосой, антенной и программного обеспечения – RadioMania 1.0, 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, являющаяся нейтральной зоной грунта установлена на отметке  $-8,7$  м от уровня земли.

**В четвертом разделе** представлена разработанная математическая модель наилучшей глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, при которой температура пропиленгликоля приближается к температуре грунта, соответственно дальнейшее увеличение глубины зонда технически неэффективно.

Полученное при моделировании выражение позволяет исследовать зависимость температуры теплоносителя, поступающего в теплообменник, от глубины скважины и от скорости движения потока пропиленгликоля в трубе. Проведенные исследования позволили усовершенствовать ранее разработанную номограмму расстояния между скважинами с U-образными грунтовыми зондами.

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»).

Результаты применения нового технического решения:

1. Уменьшение интенсивности теплообмена между параллельно идущими трубами в геотермальном зонде буровой скважины;
2. Фиксирование максимального расстояния между трубами в геотермальном зонде буровой скважины;
3. Возможность механизированного монтажа буровыми штангами за счет выполнения работ через центральное отверстие с боковым разъемом, а также способность устройства трубопровода подачи воды для увлажнения грунта.

**В пятом разделе** представлены разработанные практические рекомендации для проектирования систем теплоснабжения зданий и сооружений на базе теплотрансформаторов в сочетании с грунтовыми U-образными зондами, методика подбора теплотрансформатора, выполнен технико-экономический анализ применения теплотрансформатора с усовершенствованными U-образными

грун



товыми зондами. 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 теплотрансформатора, с усовершенствованными грунтовыми зондами уменьшается на 6,7%.

### **Научная новизна**

1. Установлены физико-механические и теплофизические характеристики грунтов г. Омска, зафиксирована нейтральная зона грунта, формирующаяся под воздействием солнечной радиации;
2. Обоснована математическая модель эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, отличающаяся от известных возможностью учета зависимости температуры рабочей жидкости от заглубления зонда;
3. Улучшена методика определения количества скважин и расстояния между ними. Усовершенствована номограмма расстояния между геотермальными зондами с учетом полученных экспериментальных данных.

### **Практическая значимость**

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 No 198052), свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ No 2020611929 от 12.02.2020, патент No 2529850), в низкопотенциальном контуре земли, которые позволят повысить эксплуатационные показатели работы грунтовых теплотрансформаторов, а также выполнять мониторинг 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).

### Вопросы и замечания

1. На подрисовочной подписи к рисунку 3 автореферата (и рис. 3.12) диссертации: «Показания датчиков температуры 1-10 скважины ...» на самом деле приведены данные для трех скважин.

2. При столь значительных разбросах экспериментальных данных на рисунках 2.3 – 2.10 вряд ли возможна линейная аппроксимация.

3. Методика приведенных затрат, изложенная в экономическом обосновании работы, в настоящее время не используются.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы Кадцына И.И.

### Общий вывод

Диссертация Кадцына Ивана Ильича соответствует специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика, имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические разработки, направленные на повышение эффективности работы геотермальных теплотрансформаторов, имеющие существенное значение для развития страны.

Учитывая актуальность, научную новизну и практическую значимость представленной работы, научную новизну и практическую значимость представленной работы, считаю, что научно-квалификационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Кадцын Иван Ильич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».

Официальный оппонент, заведующий  
кафедрой «Теплоэнергетика и теплотехника»  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет»  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
доктор технических наук, профессор

19.08.2022 г.

**Мунц Владимир Александрович**

Подпись В.А. Мунца заверяю:

Ученый секретарь  
Ученого Совета УрФУ



В.А. Морозова

620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург,  
ул. С. Ковалевской, Д. 5  
+7 (343) 375-45-67  
v.a.munts@urfu.ru