

**ОТЗЫВ**  
официального оппонента Цветкова Николая Александровича  
на диссертацию **Кадцына Ивана Ильича**  
на тему «Улучшение эксплуатационных и технико-экономических характеристик  
геотермальных теплотрансформаторов»  
по специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Увеличение населения нашей планеты связано с неизбежным возрастанием потребления электрической и тепловой энергии. Потребление ископаемых видов топлива для получения энергии уже сейчас и в перспективе будет жестко ограничиваться в связи с конечностью этих ресурсов и вредным влиянием продуктов их сгорания на окружающую среду. Более того, человечество вынуждено будет повсеместно использовать рациональные для конкретной местности возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в связи с возможной угрозой глобального потепления. Учеными практически всех стран активно выполняются исследования, связанные с выявлением потенциалов ВИЭ для конкретной местности и повышением эффективности оборудования для получения энергии из конкретных возобновляемых источников, в том числе геотермальных теплотрансформаторов для извлечения тепловой энергии из поверхностных слоев Земли.

Более 60% территории России – вечная мерзлота, значительная часть остальной территории, в том числе Юго-Западная Сибирь, характеризуется сезонно промерзающими грунтами. Несмотря на большой энергосберегающий потенциал, применение тепловых насосов в климатических условиях нашей страны ограничено отсутствием инженерных методик расчета, учитывающих все многообразие факторов, влияющих на работу теплового насоса. Недостаточность достоверных физических и теплофизических характеристик для грунтов на конкретных территориях приводит к ошибочным расчетам грунтовых зондов. При их эксплуатации вымораживается грунт между скважинами, наблюдается низкая технико-экономическая эффективность теплообменного оборудования и теплотрансформаторов по сравнению с заявляемыми характеристиками производителей.

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью улучшения эксплуатационных и технико-экономических характеристик геотермальных теплотрансформаторов применительно к климатическим условиям Сибири.

В диссертации правильно поставлена цель работы и верно сформулированы задачи для ее достижения.

Основная идея диссертации заключается в определении физико-механических и теплофизических характеристик грунтов на примере г. Омска, использование которых позволяет надежно определять температурное поле и нейтральную зону грунта, создать методику проектирования каскада геотермальных зондов, в том числе с применением эффективных усовершенствованных конструкций грунтовых зондов, разработанным автором. Такой подход имеет признаки оригинальности и, несомненно, увязан с общими направлениями научной мысли в области совершенствования эффективности геотермальных теплотрансформаторов.

Наиболее значимыми результатами диссертации следует признать:

– представленные экспериментальные данные температурных режимов трех скважин в г. Омске в период с 01.11.2020 по 27.02.2021 (в том числе в период холодной пятидневки), на основании которых установлена величина максимальной глубины влияния солнечной радиации –8,7 м от уровня земли (нейтральная зона грунта) и средняя температура грунтового массива для г. Омска, составляющая  $8,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

– обоснование математической модели эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора (дальнейшее увеличение глубины зонда экономически неэффективно) с учетом зависимости температуры рабочей жидкости от заглубления зонда;

– улучшение методики определения количества скважин и расстояния между ними с усовершенствованием номограммы для таких расчетов на основе полученных экспериментальных данных;

– предложенные конструкции U-образного грунтового зонда (патент на полезную модель № 198052) и специального геотермального устройства для водоупорных грунтов (патент на изобретение № 2739298), полученное свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2020611929 «Геотермальный регистратор»).

Все эти результаты определяют научную или техническую новизну выполненного исследования.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что с учетом нейтральной зоны грунта для других конкретных территорий, предложенные модели и методы могут служить основой для разработки инженерных методик проектирования геотермальных зондов других эффективных конструкций и геотермальных теплотрансформаторов.

Практическая значимость работы связана:

– с возможностями широкого использования в Сибири теплотрансформаторов с предложенным новым конструктивным решением U-образных грунтовых зондов, которые успешно апробированы на территории г. Омска и показали фактическое уменьшение расхода электроэнергии на 31 %;

– с возможностями широкого использования разработанной программы для ЭВМ, позволяющей выполнять мониторинг температурного режима грунтов и создавать базы данных для конкретных территорий.

Основные результаты и выводы в достаточной степени обоснованы. Поставленная цель работы достигнута.

Новыми научными результатами, полученными автором диссертации, являются:

– установленные физико-механические и теплофизические характеристики грунтов для территории г. Омска с определением нейтральной зоны грунта, необходимые для расчета вертикальных зондов для теплонасосных систем теплоснабжения, в которых грунт поверхностных слоев земли играет роль низкотемпературного источника тепловой энергии;

– обоснованная математическая модель определения эффективной глубины односкважинного коаксиального геотермального коллектора, отличающаяся от известных учетом зависимости температуры рабочей жидкости от заглубления зонда;

– улучшенная методика определения количества скважин и расстояния между ними с усовершенствованной номограммой на основе полученных экспериментальных данных для инженерного расчета.

Достоверность полученных результатов подтверждается: корректным применением математического аппарата; использованием теории экспериментальных исследований и математической статистики; выполнением измерений с использованием сертифицированного измерительного оборудования и приборов, сравнением расчетных данных с результатами собственных экспериментов.

Полученные результаты работы можно считать достоверными с расширением их возможного использования на других конкретных территориях.

Диссертация содержит 162 с. основного текста, содержит 53 рисунка и 17 таблиц. Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 112 наименований и 13 приложений.

По теме диссертации автором опубликовано 14 работ, из них 3 – в рецензируемых изданиях из списка ВАК, в которых материалы диссертации отражены достаточно полно. Кроме того, одна работа опубликована в издании, индексируемом в международной реферативной базе данных Scopus, получен 1 патент на изобретение, получен 1 патент на полезную модель и зарегистрирована программа для ЭВМ. Опубликовано 7 работ в прочих изданиях.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

