

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Митякова Владимира Юрьевича на диссертацию Федоткиной Анастасии Николаевны на тему: «Повышение эффективности технологии трансфера теплоты с использованием геотермальных термосифонов с естественной циркуляцией», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника

1. Актуальность темы диссертации

В условиях глобальных социальных, экономических и экологических вызовов приобретает особую важность защита окружающей среды, включая углеродное регулирование и сокращение вредных выбросов.

Для снижения углеродного следа и борьбы с изменениями климата в энергетическом балансе России необходимо внедрять альтернативные источники энергии, включая геотермальные.

Одним из распространённых методов добычи геотермальной теплоты является применение геотермальных термосифонов. При высокой надежности, их существенным недостатком являются тепловые потери при транспортировке энергии на поверхность, которые могут достигать 30%.

В связи с этим диссертация А.Н. Федоткиной, решающая задачу повышения эффективности геотермальных термосифонов с естественной циркуляцией (ГТЕЦ), является **актуальной**.

По своей направленности диссертационная работа соответствует специальности 2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника.

2. Научная новизна диссертации.

Научная новизна исследования заключается в следующем.

1. Установлена зависимость количества теплоты, транспортируемой с помощью ГТЕЦ, от термодинамических и технических параметров: температуры грунта, длины установки, наличия конструктивного разделителя восходящих и нисходящих потоков.

2. В рамках разработанной математической модели установлена зависимость эффективности теплообмена в ГТЭС от наличия теплоизолированного разделителя сред, а также от внутренних и внешних тепловых потерь.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Достоверность полученных результатов определяется корректным использованием теории системного анализа при выборе рационального метода транспортирования теплоты; использованием современных методов исследований, включающих математическое моделирование процессов в ГТЭС. Она подтверждена экспериментальными исследованиями и сходимостью результатов численных расчетов и моделирования в программном комплексе.

4. Научные результаты, их ценность.

Научные результаты диссертации выражены в следующих положениях, выносимых на защиту.

1. Использование конструктивного разделителя сред позволяет увеличить энергетическую эффективность ГТЭС не менее, чем на 20 %.

2. Использование теплоизолирующего слоя на конструктивном разделителе сред позволяет увеличить энергетическую эффективность ГТЭС не менее, чем на 10 %.

Теоретические и экспериментальные исследования А.Н. Федоткиной выполнены на достаточно высоком уровне, обладают научной ценностью. Предложенные методы повышения эффективности транспорта геотермальной теплоты в ГТЭС являются перспективным научно-обоснованным решением, которое может быть реализовано в ведущих компаниях соответствующего профиля.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 2 статьях из перечня ВАК и в 2 статьях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus; получен патент на полезную модель.

5. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Серия экспериментальных и теоретических исследований позволила соискательнице сделать следующие выводы.

1. Разработан метод выбора технологий для трансфера геотермальной энергии, основанный на интегральном подходе к определению критериев проектных решений.

2. Разработана математическая модель, описывающая термодинамический процесс функционирования ГТЕЦ с разделителем сред с учетом внутренних и внешних тепловых потерь.

3. Разработана конструкция ГТЕЦ с теплоизолированным разделителем сред, защищенная патентом РФ на полезную модель «Геотермальный термосифон с естественной циркуляцией рабочего тела».

4. На опытной установке экспериментально определены основные режимные параметры транспорта теплоты в ГТКЦ; установлено соответствие результатов физического эксперимента и численного моделирования.

5. Практические результаты, полученные в результате диссертационного исследования, внедрены в проектно-техническую документацию Проектного центра филиала Невский ПАО «ТГК-1» (акт внедрения от 13.03.2025).

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Основные результаты диссертации могут быть использованы в проектной и конструкторской документации при разработке систем транспорта геотермальной энергии, при выполнении научно-исследовательских работ, направленных на повышение эффективности теплоэнергетических систем, а также в учебном процессе вузов для направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника».

7. Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Диссертация выполнена на высоком экспериментальном научном уровне. Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста, со-

держит 21 рисунок, 15 таблиц. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Список использованных источников включает 136 наименований. Диссертация написана научным языком. Работа является цельной и завершенной.

Первая глава посвящена обоснованию выбора геотермального термосифона как наиболее эффективной технологии теплопередачи.

Во второй главе представлены научно-технические решения по совершенствованию конструкции геотермального термосифона и их математическое обоснование. Автором теоретически подтверждено, что интеграция теплоизолированного разделителя сред обеспечивает повышение энергоэффективности системы в диапазоне до 30%.

В третьей главе представлена методология и результаты экспериментального исследования эффективности геотермального термосифона, базирующиеся на теории планирования эксперимента. С помощью метода полного факторного эксперимента разработана регрессионная модель, обеспечивающая описание процессов трансфера теплоты.

В четвертой главе представлено технико-экономическое обоснование внедрения геотермальных термосифонов с естественной циркуляцией, подтверждающее их высокую рентабельность.

Выводы и практические рекомендации согласуются с содержанием работы. Цель работы достигается решением поставленных задач.

8. Соответствие паспорту специальности

Тема диссертации «Повышение эффективности технологии трансфера теплоты с использованием геотермальных термосифонов с естественной циркуляцией» соответствует следующим областям исследования паспорта научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника:

4. Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и

при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.

8. Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров, использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем.

9. Замечания и вопросы по диссертации

1. Автор использует термин «тепловая энергия», неприменимый в работах фундаментального характера ввиду его несоответствия классическим термодинамическим представлениям. Термодинамическая система обладает внутренней энергией (функцией состояния), а в процессе взаимодействия со средой к ней подводится или от неё отводится теплота. Смещение понятий о функциях процесса и состояния недопустимо - как и применение термина «тепло» вместо общепринятого «теплота».

2. В главе 2 при математическом моделировании принимается допущение о ламинарном режиме течения теплоносителя. Учитывалась ли в модели возможность смены режима?

3. Рассматривались ли в качестве рабочего тела альтернативные низкокипящие теплоносители (например, фреоны или аммиак), проводились ли сравнительные расчеты эффективности ГТЭС с их использованием?

4. В работе установлено, что внедрение теплоизолированного разделителя сред повышает эффективность на 10%, а самого разделителя — на 20%. Суммарный эффект, согласно тексту, составляет 20–30%. Следует уточнить, является ли эффект от применения этих двух решений аддитивным.

5. При представлении результатов измерений и расчетно-экспериментального сопоставления используется термин «погрешность» в то время как действующим российским и международным стандартами предусмотрено по-

нятие «неопределённость». Методики расчёта этих величин существенно различаются. Не приведены составляющие неопределенности, метод их определения, тип оценки (А или В), не указаны сводная стандартная или расширенная неопределенность результатов измерений. Для экспериментальной теплотехнической работы такой раздел является методически значимым, поскольку позволяет количественно оценить достоверность полученных зависимостей и регрессионных моделей.

6. В таблице 3.3 приведены результаты эксперимента без уточнений величин и размерностей предоставленных параметров.

7. В диссертации встречаются орфографические ошибки и опечатки (стр. 10, 14, 21, 27, 42, 66, 72). Использованы внесистемные единицы измерения с нарушением ГОСТ 8.417- 2002 (стр. 32, 33, 34, 41, 49). Графики на рис. 2.3-2.5, 3.6-3.9 низкого качества и выполнены с ошибками.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, имеющей несомненное научное и практическое значение.

10. Заключение по диссертации

Диссертация Федоткиной Анастасии Николаевны выполнена на высоком уровне, качественно оформлена и соответствует всем действующим требованиям, материал исследования изложен грамотно. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Диссертация «Повышение эффективности технологии трансфера теплоты с использованием геотермальных термосифонов с естественной циркуляцией», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Федоткина Анастасия

Николаевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности 01.04.14, профессор, профессор Высшей школы атомной и тепловой энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

/ В. Ю. Митяков

«24» марта 2026 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Адрес: ул. Политехническая, д. 29, лит. Б, Санкт-Петербург, 195251

Телефон: +7 (812) 775-05-30

E-mail: office@spbstu.ru

Подпись профессора, доктора технических наук, профессора федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Митякова Владимира Юрьевича заверяю: