

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента кафедры «Тепломассообменных процессов и установок» ФГБОУ ВО «Национальный Исследовательский Университет «МЭИ» **Савченковой Натальи Михайловны**

на диссертационную работу **Федоткиной Анастасии Николаевны** на тему: «Повышение эффективности технологии трансфера теплоты с использованием геотермальных термосифонов с естественной циркуляцией», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника

Актуальность темы диссертации

Термосифоны являются одними из самых дешевых и, в то же время, эффективных теплопередающих устройств. Их использование в геотермальной энергетике позволяет получать тепловую энергию без нарушения целостности источников и извлечения теплоносителя из них. Однако при транспортировке энергии на поверхность возникают большие тепловые потери.

Новые технические и технологические решения конструкции геотермального термосифона с естественной циркуляцией (ГТЕЦ), предлагаемые автором, позволяют улучшить эксплуатационные и технико-экономические характеристики, что отражает актуальность представленной работы.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Автором предложена новая конструкция геотермального термосифона с естественной циркуляцией, включающая разделитель сред потоков, который также может быть теплоизолирован. Конструкция позволяет получить суммарный эффект в росте производительности и снижении потерь до 30%.

Предложенная математическая модель была проверена экспериментом, для чего была разработана экспериментальная установка, и проведены серии опытов с имитацией температур грунта от 40°C до 70 °C, что соответствует

реальным показателям геотермальных источников теплоты, а также с варьировалась длина геотермального термосифона от 0,5 до 2 м.

В диссертационной работе автор применяет комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение научно-технической и патентной информации, методы системного анализа и теории принятия решений, теорию тепломассопереноса, применительно к геотермальным термосифонам, использован метод планирования эксперимента при проведении экспериментальных исследований.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в установлении зависимостей количества тепла, транспортируемого с помощью геотермального термосифона с естественной циркуляцией, от различных технических и термодинамических параметров: температуры грунта, длины установки, наличия конструктивного разделителя сред восходящих и нисходящих потоков. К новизне данной работы можно отнести также разработанную автором тепловою математическую модель геотермального термосифона с естественной циркуляцией и установление зависимости эффективности передачи геотермальной энергии от наличия теплоизолированного разделителя сред и внутренних и внешних тепловых потерь.

Достоверность исследования и полученных результатов

Достоверность полученных результатов диссертационной работы достигнута за счет корректного использования теории системного анализа при выборе рационального метода транспортирования тепла; использования современных апробированных методов исследований, включающих математическое моделирование функционирования ГТЭС; подтверждена экспериментальными исследованиями и сходимостью результатов численных расчетов по разработанной методике и моделирования, а также большим объемом представленных экспериментальных данных, полученных на лабораторной установке, а также с данными, опубликованными в литературе по тематике научной работы. Достоверность исследований обусловлена

использованием современного аналитического оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Автором был произведен обзор и классификация существующих технологий извлечения теплоты из земных недр. На основе интегральной оценки, включающей комплекс влияющих факторов, выбрана наиболее эффективная технология передачи теплоты – геотермальный термосифон с естественной циркуляцией. Разработаны конструктивные усовершенствования для повышения эффективности геотермального термосифона, которые позволили снизить теплотери и увеличить эффективность его работы на 30%. Создана лабораторная модель геотермального термосифона и экспериментальная установка, подтверждающая реальную работоспособность и эффективность использования подобных устройств.

Предложенная математическая модель, описывающая термодинамический процесс функционирования ГТЭС с разделителем сред с учетом внутренних и внешних тепловых потерь, подтверждена хорошей сходимостью результатов расчетов и экспериментальных данных, что позволяет существенно снизить затраты на проектирование установок для промышленного использования.

Разработана конструкция ГТЭС с установленным теплоизолированным разделителем сред с низким коэффициентом теплопроводности, защищенная полученным патентом РФ на полезную модель «Геотермальный термосифон с естественной циркуляцией рабочего тела». Проведены экспериментальные исследования на опытной установке с целью определения основных параметров рабочего режима трансфера теплоты и установлены соответствия результатов численного моделирования и результатов, полученные опытным путём.

Произведена технико-экономическая оценка использования геотермального термосифона с естественной циркуляцией, показавшая его

быструю окупаемость и хорошую экономическую эффективность в регионах, обладающих большим потенциалом.

Работа имеет несомненный практический интерес в первую очередь для энергетической промышленности, включая непосредственное производство тепловой энергии экологически чистым способом, а также нефтегазовую отрасль, где предложенная установка способствует снижению вязкости нефтепродуктов и, следовательно, снижению затрат на их прокачку. Практические результаты, полученные в результате диссертационного исследования, внедрены в проектно-техническую документацию предприятия Проектного центра филиала Невский ПАО «ТГК-1» (акт внедрения от 13.03.2025).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Целесообразность применения разработанной методики расчета, описывающей процесс функционирования геотермального термосифона с естественной циркуляцией, полученных экспериментальных результатов и выводов, включающих, в частности, оценку экономической эффективности, обусловлена рекомендациями к использованию при разработке проектной документации по проектам технического перевооружения, реконструкции энергетических объектов, что подтверждается актом о внедрении.

Особенно актуально использование разработанной конструкции геотермальных термосифонов в регионах с наличием высокого температурного потенциала источников и высокими тарифами на энергоресурсы, например, на Дальнем Востоке.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Содержание диссертации включает 4 главы, заключение и список литературных источников, включающий 136 наименований. Материалы диссертации изложены аргументировано и в логической последовательности на техническом языке, понятном для специалистов по выбранной теме. Диссертация снабжена достаточным количеством иллюстраций,

необходимым для наглядного пояснения представленных результатов исследования. **Завершенность** диссертации в целом подтверждается соответствующими содержанию диссертации выводами, а также актом внедрения результатов проведенных исследований в проектно-техническую документацию предприятия Проектного центра филиала Невский ПАО «ТГК-1». Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне.

Во введении формулируются цели и задачи диссертационной работы, кратко рассмотрено основное содержание глав, указаны результаты, выносимые на защиту.

Первая глава обосновывает актуальность диссертационной работы. Выполнен литературный обзор, на основании которого составлена классификация технических решений для трансфера геотермальной энергии.

Результатом анализа является вывод об эффективности выбора геотермального термосифона с естественной циркуляцией для транспортировки геотермальной теплоты.

Вторая глава включает предложения по совершенствованию конструкции геотермального термосифона, способствующие повышению эффективности его работы. Разработана математическая модель процессов в геотермальном термосифоне. Произведен анализ влияния различных параметров работы.

В третьей главе представлена методика проведения эксперимента, описана экспериментальная установка, приведены экспериментальные данные, выполнен их анализ и произведено сравнение с расчетными результатами, которое показало высокую точность расчета. Это позволит использовать предложенную математическую модель для предварительного проектирования подобных объектов с минимальными затратами на этапе проектирования.

Четвертая глава посвящена технико-экономическому обоснованию использования геотермального термосифона. Анализ проведен по регионам с учетом наличия источников геотермальной энергии и повышенного тарифа на

тепловую энергию на основе оценки капитальных затрат на реализацию предлагаемой системы. Предложены другие варианты использования геотермального термосифона.

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, обобщены и представлены в заключении, согласуются с целью, задачами и содержанием работы. Кроме того, основные результаты по каждому разделу работы, кратко изложены в конце соответствующего раздела.

Содержание **автореферата** отражает основные материалы диссертационной работы в краткой форме. В нем изложены основные положения и выводы диссертации, показан вклад автора, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Соответствие паспорту специальности

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, пунктам:

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.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе, в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень

ВАК); в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получен 1 патент на полезную модель.

Замечания и вопросы по диссертации

В качестве замечаний к диссертационной работе следует отметить:

1) В названии и по тексту используется термин «эффективность». Однако четкого определения или расчетного критерия эффективности в диссертации нет.

2) В пункте 1.1 при описании работы термосифона указано, что испарение теплоносителя происходит при достижении определенной температуры – это утверждение не верно. Процесс испарения происходит при любой температуре жидкости. Вопрос работоспособности термосифона определяется интенсивностью этого испарения. В самой работе используется термосифон, где отсутствует фазовый переход, а осуществляется конвективный теплообмен в однородной среде, поэтому следовало бы подробнее остановиться на различиях в принципах функционирования устройств.

3) Формула 2.13 описывает тепловой баланс и количество передаваемой ГТЭС теплоты в Вт, однако далее в расчете и на Рисунке 2.4 – График зависимости вырабатываемой тепловой мощности от температуры залегания грунта при наличии и отсутствии разделителя сред, приведены результаты для плотности теплового потока в Вт/м². Это не дает возможность оценить действительное количество переданной теплоты.

4) При использовании разделителя сред показан только полученный эффект. Хотелось бы получить физическое описание природы этого эффекта, например, влияние трения, диффузии или уноса частиц в потоках.

5) В главе 4 ТЭО сопоставляемых вариантов проводится на основе принятых капитальных затрат на реализацию проекта, которые оцениваются в 10 и 15 млн. руб. Отсутствует экономическое обоснование такой стоимости капитальных затрат.

6) Диссертационная работа написана технически грамотным языком, отслеживается логика изложенного материала, но в тексте присутствуют

грамматические ошибки, а также встречается несоблюдение требований по оформлению рукописей, например, в списке литературных источников.

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимость полученных результатов и имеют частный характер. В целом, решение автором актуальной технической задачи, свидетельствует об успешном сочетании его научной и инженерной деятельности, а результаты диссертационной работы представляют интерес для энергетической промышленности.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Федоткиной Анастасии Николаевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научно-техническая задача, связанная с повышением эффективности трансфера теплоты при использовании геотермальных термосифонов, изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки по совершенствованию их конструкции, ее экспериментальные исследования и методы расчета, имеющие существенное значение для энергетики Российской Федерации, что соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Диссертационная работа на тему: «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, отвечает 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.

Автореферат и научные публикации отражают основное содержание диссертации.

Считаю, что автор диссертационной работы, Федоткина Анастасия Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. – Теоретическая и прикладная теплотехника.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, доцент
кафедры теплообменных
процессов и установок федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «МЭИ»

Савченкова Наталья Михайловна

21.03.2026 г.

25.03.2026г

Шифр специальности, по которой
защита кандидатская диссертация
Савченковой Н.М.,
05.14.01 — «Энергетические системы и комплексы»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«МЭИ»

Адрес: ул. Красноказарменная, д.14, стр.1, Москва, 111250

Телефон: +7 495 362-75-60

E-mail: universe@mpei.ac.ru