

АННОТАЦИЯ

На диссертационную работу Абдлахатовой Назым Шохадляевны на тему «Исследование и совершенствование технологического режима бинарной энергоустановки для повышения энергоэффективности автономных потребителей», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D08702 – «Энергообеспечение сельского хозяйства».

Актуальность исследований. Геотермальная энергия приобретает все большее значение в системах теплоснабжения различных стран мира. Она основана на использовании естественного тепла Земли и может применяться для выработки электрической и тепловой энергии. В отличие от других видов возобновляемых источников энергии, геотермальная энергия характеризуется высокой стабильностью и независимостью от погодных условий, времени года и суток.

В настоящее время геотермальные ресурсы в Казахстане используются преимущественно для сельского хозяйства, обогрева теплиц, горячего водоснабжения и отопления жилых и общественных зданий. В то же время производство электроэнергии по-прежнему основано на тепловых электростанциях, что сопровождается высокими выбросами CO₂. В связи с этим использование геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии приобретает особую актуальность с учетом отсутствия в стране геотермальных электростанций. Переход к использованию геотермальной энергии может быть важным шагом на пути к снижению выбросов парниковых газов и реализации стратегии декарбонизации страны.

На сегодняшний день использование геотермальных ресурсов в Республике Казахстан остается ограниченным, несмотря на их значительный энергетический потенциал. Возможности их применения для выработки электроэнергии изучены недостаточно. Это свидетельствует о наличии научного пробела и определяет необходимость проведения комплексных исследований, что подчеркивает актуальность настоящей работы.

Наряду с энергетическим сектором, агропромышленный сектор Казахстана относится к числу стратегически важных отраслей экономики. Производственные процессы, включая тепличное хозяйство, сушку сельскохозяйственной продукции, животноводство и пищевую промышленность, требуют стабильного энергоснабжения в течение всего года. В настоящее время эти потребности в основном покрываются за счет ископаемого топлива и централизованных систем электроснабжения. Это приводит к росту эксплуатационных затрат, увеличению выбросов парниковых газов и снижению устойчивости производства, особенно в сельских и отдалённых регионах.

В диссертационной работе рассматривается возможность использования низкотемпературных геотермальных ресурсов с применением органического цикла Ренкина (ОЦР) и их последующего каскадного использования в

тепличном хозяйстве. Предлагаемая концепция направлена на одновременное производство электрической и тепловой энергии, что особенно актуально для климатических и социально-экономических условий Казахстана. Комплексное использование ресурсов способствует повышению эффективности геотермальных систем и обеспечивает надежное энергоснабжение аграрного сектора.

Несмотря на наличие в стране низкотемпературных геотермальных ресурсов, их потенциал для выработки электрической энергии остается практически не реализованным. Одной из ключевых причин является отсутствие комплексно проработанного подхода к преобразованию тепловой энергии низкотемпературных геотермальных источников в электрическую с использованием органического цикла Ренкина, а также к одновременному использованию оставшегося тепла, например в сельском хозяйстве.

Цель исследования – повышение энергоэффективности автономных потребителей путем исследования и совершенствования технологического режима бинарной геотермальной энергоустановки с органическим циклом Ренкина.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- определить геотермальные зоны с наибольшим потенциалом;
- оценить энергетический потенциал геотермальных ресурсов Южного Казахстана;
- на основе термодинамической модели органического цикла Ренкина выполнить расчет потенциала выработки электрической энергии и каскадного теплоснабжения теплиц с использованием геотермальных ресурсов;
- исследовать характеристики низкокипящих рабочих жидкостей и создать алгоритма их выбора;
- провести технико-экономическое обоснование применения органического цикла Ренкина на геотермальных источниках Алматинской области.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- разработана термодинамическая модель бинарной геотермальной энергоустановки на основе органического цикла Ренкина, адаптированная к параметрам низкотемпературных геотермальных источников Алматинской области, позволяющая оценивать потенциал производства электрической энергии;
- предложен подход к каскадному использованию теплоты конденсатора органического цикла Ренкина для теплоснабжения тепличных хозяйств в зимний период и сушки сельскохозяйственной продукции в летний период;
- разработана методика выбора низкокипящей рабочей жидкости на основе комплексной оценки термодинамической эффективности, экологических характеристик и требований пожарно-взрывобезопасности;
- обоснована технико-экономическая эффективность каскадного использования геотермальных ресурсов на основе бинарной геотермальной

энергоустановки с органическим циклом Ренкина для энергоснабжения автономных потребителей.

Объектом исследования являются геотермальные источники Казахстана.

Предмет исследования. Процесс преобразования тепловой энергии низкотемпературных источников в электрическую с использованием ОЦР с последующим каскадным использованием остаточной тепловой энергии.

Методы исследования. Анализ литературы и патентный поиск позволили оценить степень разработанности темы и определить перспективные направления. В работе применены отечественные и зарубежные исследования в области геотермальной энергетики. Проведено математическое моделирование процессов преобразования энергии, включая построение термодинамической модели геотермальной электростанции. Расчеты выполнены с использованием программных средств Excel, ThermoState.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая значимость диссертационной работы заключается в методике выбора органических жидкостей для геотермальных электростанций с органическим циклом Ренкина (ОЦР). Для расчета были использованы:

- библиотека CoolProp, представляющая собой программное обеспечение для расчёта теплофизических свойств хладагентов и органических жидкостей, дающее возможность определения энтальпии, энтропии, плотности и других необходимых параметров для термодинамического моделирования на основе органического цикла Ренкина;
- для проверки свойств рабочих жидкостей применено программное обеспечение Thermostatе.

Применение нескольких программных комплексов позволило проверить корректность расчетов термодинамических свойств рабочих жидкостей, что повысило достоверность полученных результатов.

Практическая ценность работы подтверждена актами внедрения в учебный процесс Таразского университета имени М. Х. Дулати. Результаты исследования используются при проведении лабораторных и практических занятий по дисциплине «Альтернативные и возобновляемые источники энергии» кафедры «Автоматизация и телекоммуникация» для образовательной программы 6В07107 – «Цифровая энергетика». Кроме того, получены акты внедрения в учебный процесс Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева и Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Материалы исследования применяются в лекционных и практических занятиях по дисциплине «Альтернативные источники электрической энергии», читаемой для образовательных программ 6В07128 – «Цифровая энергетика», 7М07113 – «Электротехника и энергетика» и 7М07144 – «Инновационные технологии и оборудование в возобновляемой энергетике», 6В07117 – «Теплоэнергетика».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. На основе разработанной термодинамической модели органического цикла Ренкина установлено, что суммарный потенциал производства электрической энергии геотермальных скважин №5539, 1-РТ и 2-ТП Жаркентского месторождения составляет 11440,2 МВт·ч/год, из которых 5905,5 МВт·ч/год обеспечивает скважина №5539;

2. Каскадное использование теплоты конденсатора установки органического цикла Ренкина с годовым тепловым потенциалом 92,4 ГВт·ч обеспечивает теплоснабжение тепличных хозяйств общей площадью до 17 га в зимний период либо сушку 29840–44760 т/год сельскохозяйственной продукции в летний период;

3. Из 14 исследованных низкокипящих рабочих жидкостей требованиям термодинамической эффективности, экологической безопасности и пожарно-взрывобезопасности удовлетворяют 11, при этом рабочая жидкость R-152a обеспечивает наибольшую годовую выработку электроэнергии при ODP = 0 и GWP = 124;

4. Каскадное использование теплоты конденсатора органического цикла Ренкина сокращает срок окупаемости бинарной геотермальной энергоустановки с 7,2 года при производстве только электроэнергии до 5,1 года при теплоснабжении тепличных хозяйств и до 5,3 года при использовании теплоты для сушки сельскохозяйственной продукции.

Апробация работы. Основные результаты диссертационного исследования доложены на Международной научно-практической конференции «Инновационные и практические решения ускоренного восстановления продуктивности деградированных орошаемых земель» (Тараз, 2021 г.), Международной научно-практической онлайн-конференции «Интеграция науки, образования и производства - основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения, Караганда, 2021 г.), а также на научных семинарах кафедры «Энергетика» Казахского национального университета водного хозяйства и ирригации.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 10 статей в международных и республиканских изданиях, а также получен 1 патент РК на полезную модель. Указанные публикации отражают основное содержание диссертации.

1. Abdlakhatova N., Ribeiro L.F., Savosh L., Orynbayev S., Tokmoldayev A., Zhussip T. Harnessing Geothermal Energy in Kazakhstan: Techno-Economic Assessment of Organic Rankine Cycle Application in the Almaty Region // Results in Engineering. 2025. Vol. 28. Article 107237. pp. 1–16.

2. Tulenbayev Zh., Zhanpeisova A., Omarova A., Tleshova A., Abdlakhatova N. Prospects of using organic Rankine cycle for geothermal power generation // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 2025. Vol. 16, No. 1. pp. 575–583.

3. Zhanpeisova A., Tleshova A., Abildaeva A., Uzbekova D., Abdlakhatova N. Analysing efficiency and economic aspects in organic Rankine cycle systems // Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal. 2024. Vol. 27, Issue 3. pp. 87–108.

4. Orynbayev S., Tokmoldayev A., Abdlakhatova N., Zhanpeisova A., Tumanov I. Improving power plant technology to increase energy efficiency of autonomous consumers using geothermal sources // Energy Harvesting and Systems. 2024. pp. 1–10.

5. Kozhageldi B.Zh., Tulenbayev Zh.S., Orynbayev S.A., Kuttybaev G., Abdlakhatova N., Minazhova S. Development of integrated solutions for the decentralisation of electricity supply to power-hungry regions // The Electricity Journal. 2022. Vol. 35(4). pp. 1–6.

6. Orynbayev S.A., Tokmoldaev A.B., Abdlakhatova N.Sh., Ribeiro L.F., Zhusup T.S. The potential of geothermal sources in southern Kazakhstan for heat supply to rural consumers: the case of the Zhambyl region // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы. 2023. № 2. Павлодар. pp. 261–270.

7. Орынбаев С.А., Абдлахатова Н.Ш., Жүсіп Т.С., Жанпейісова А.О., Тлешова А.С. Оңтүстік Қазақстан геотермалды ресурстары үшін Ренкин органикалық циклын пайдалану // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы. 2024. № 4. Павлодар. Б. 297–309.

8. Абдлахатова Н., Орынбаев С.А., Жүсіп Т.С. Жер асты суларын пайдалану перспективасы // Материалы научно-практической конференции Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – Тараз, 2022. – С. 97–101.

9. Абдлахатова Н., Жанпейісова А.О. Бинарлы геотермалды электр станциясындағы бу турбиналық қондырғы. Научный журнал «Механика и технологии» № 2 2022 г. С. 73-78.

10. Абдлахатова Н., Токмодаев А.Б. Қазақстанның гидрогеотермалдық және гидрогеоминералдық ресурстарының даму болашағы. Научный журнал «Механика и технологии» № 1 (75) 2022 г. С. 45-54.

11. Орынбаев С.А., Ribeiro L.F., Токмодаев А.Б., Абдлахатова Н. Способ утилизации энергии геотермальных вод с использованием Органического цикла Ренкина. Патент на полезную модель № 10678 бюл. №23 от 05.06. 2025 г.

Связь данной работы с другими НИР и различными государственными и международными программами.

Исследования выполнялись в соответствии с планами НИР кафедры «Энергетика и электротехника» Казахского национального аграрного исследовательского университета, где автор обучался в докторантуре, а также в рамках госбюджетной темы: «Разработка ресурсосберегающей технологии для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра» номер государственной регистрации №BR24992867 Таразского университета имени М.Х. Дулати, а также при поддержке международного проекта FCT – Fundação para a Ciência (Portuguese Science Foundation) «Энергетика, окружающая среда и управление» (D512-5276-78CF), в котором автор принимает участие в качестве младшего научного сотрудника. Также

совместные исследования проводились с лабораторией GICoS, Instituto Politécnico de Bragança, Браганса, Португалия.

Личный вклад докторанта.

На основе термодинамической модели с применением органического цикла Ренкина (ОЦР) выполнены расчёты энергетического потенциала производства электроэнергии в Алматинской области. Полученные результаты обработаны, проанализированы и интерпретированы автором совместно с научными руководителями: д.т.н., профессором-координатором Luis Frólén Ribeiro, PhD, ассоциированным профессором С.А. Орынбаевым и к.т.н., ассоциированным профессором А.Б. Токмолдаевым.

В ходе исследования обоснованы критерии выбора рабочих жидкостей для ОЦР и определены количественные показатели эффективности использования геотермальной энергии, а также предложен каскадный подход, предусматривающий применение остаточной тепловой энергии геотермальных вод для теплоснабжения сельскохозяйственных объектов, включая тепличное хозяйство. Дополнительно предложена методика оценки экологической и экономической целесообразности комплексного использования геотермальной энергии в условиях Казахстана.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из нормативных ссылок, определений, обозначений и сокращений, введения, пяти разделов, заключения, список использованных источников и приложения. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Диссертация включает 30 таблиц, 25 рисунков и 5 приложений. Объем диссертации составляет 111 страниц, с приложениями 138 – страниц. При подготовке диссертационной работы были изучены 100 источников литературы.