

БАИМБЕТОВ ДИНМУХАМБЕТ БАИМБЕТОВИЧ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
РЕГЕНЕРАТИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ОПРЕСНИТЕЛЯ С ТЕПЛОВЫМ
НАСОСОМ**

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени
доктора философии (PhD) по специальности
«6D060300 – Механика»

Общее описание работы. Диссертационная работа посвящена экспериментальному и численному исследованию солнечного дистиллятора с тепловым насосом. В диссертационной работе исследуются свойства схемы подключения теплового насоса к солнечному дистиллятору, а также интенсификация процесса конденсации для увеличения производства чистой воды.

Актуальность работы. По данным ООН о состоянии водных ресурсов мира, во всем мире 2 миллиарда человек (26% населения) не имеют доступа к безопасной питьевой воде, а 3,6 миллиарда человек (46%) не имеют доступа к безопасным санитарным условиям.

Вопрос нехватки питьевой воды не прошел мимо регионов Казахстана. Южные, центральные и западные регионы испытывают дефицит с доступом к питьевой воде. Среди них юго-западный регион (Мангистауская область) является единственным с выходом к Каспийскому морю и где можно применить методы опреснения морской воды. В регионе есть 2 основных источника питьевой воды, в которых используются методы термического опреснения и обратного осмоса.

В этом регионе необходимо развитие автономных, мобильных установок с использованием возобновляемых источников энергии для отдаленных населенных пунктов и сельской местности, где нет доступа к центральным коммуникациям (электроэнергия, водоснабжение и т.д.).

Также в Мангистауской области имеется очень хороший потенциал солнечной энергетики. В связи с более мягкими климатическими условиями региона эффективность солнечного и воздушного тепловых насосов по коэффициенту преобразования (COP) высока. Направление данной работы будет основано на создании экспериментальной установки солнечно-тепловой опреснительной системы на базе теплового насоса в условиях Мангистауской области Казахстана.

Цель работы. Исследование интенсификации конденсации паров воды внутри солнечного дистиллятора путем интегрирования парокомпрессионного теплового насоса.

Задачи работы.

- Сборка прототипа односкатного солнечного дистиллятора и теплового насоса, с дальнейшим их интегрированием;
- Сборка измерительных приборов, в том числе метеостанции и системы сбора данных;
- Разработка математической модели теплового баланса компонентов солнечного дистиллятора с тепловым насосом с учетом разных конфигураций системы и создание компьютерной программы для расчета на языке программирования Python;
- Обработка экспериментальных данных и валидация численной модели путем сравнения с полученными результатами.
- Анализ продуктивности чистой воды в климатических условиях Актау.

Методы исследования. Методы исследования включают сборку прототипа односкатного солнечного дистиллятора и теплового насоса, их интеграцию для совместной работы, а также установку измерительных приборов, включая метеостанцию и систему сбора данных. Разработана математическая модель теплового баланса системы, которая реализована в виде программы на языке программирования Python для проведения численных расчетов. Экспериментальные данные, полученные с помощью системы мониторинга, обрабатываются и сравниваются с результатами численного моделирования для валидации модели. Проводится анализ производительности системы по количеству опреснённой воды в условиях климата Актау.

Научная новизна.

- Интегрирование испарителя теплового насоса в солнечный дистиллятор для нагрева воды в баке;
- Интегрирование испарителя и конденсатора теплового насоса в солнечный дистиллятор для регенерации тепла.

Научные положения, выносимые на защиту.

- экспериментальные и численные результаты анализа интенсификации конденсации паров воды путем интегрирования только испарителя теплового насоса в солнечный дистиллятор;
- численные результаты анализа интенсификации конденсации паров воды путем интегрирования как испарителя, так и конденсатора теплового насоса в солнечный дистиллятор.

Описание основных результатов исследования. В ходе исследования был создан и испытан прототип односкатного солнечного дистиллятора с интегрированным тепловым насосом, что позволило оценить его эффективность в условиях реальной эксплуатации. Экспериментальные данные, полученные в процессе испытаний, подтвердили, что применение теплового насоса значительно

увеличивает производительность дистиллятора за счёт ускорения процессов конденсации и улучшения теплового обмена. Это особенно важно в условиях, где требуются высокие показатели производительности при минимальных затратах энергии.

Кроме того, была разработана математическая модель теплового баланса системы, которая прошла верификацию на основе экспериментальных данных. Данная модель позволяет с высокой точностью прогнозировать поведение солнечного дистиллятора с тепловым насосом в различных климатических условиях, включая экстремальные погодные ситуации, такие как высокие температуры и сильная солнечная радиация, характерные для региона Мангистауской области. Модель также учитывает влияние таких параметров, как интенсивность солнечного излучения, влажность воздуха и температурные колебания, что делает её универсальным инструментом для анализа работы системы в других регионах.

Производительность системы была тщательно проанализирована на примере климата города Актау, который отличается суровыми погодными условиями, засушливостью и высокой солнечной активностью. Результаты показали, что данная установка не только успешно работает в таких условиях, но и является перспективным решением для обеспечения отдалённых населённых пунктов Мангистауской области пресной водой. Особенно это актуально для районов с ограниченным доступом к централизованной инфраструктуре, где автономные и мобильные установки могут стать единственным источником воды. Таким образом, предложенная система имеет широкий потенциал применения в засушливых регионах с дефицитом пресной воды.

Научная новизна полученных результатов. Научная новизна заключается в разработке интегрированной системы солнечного опреснителя с тепловым насосом, что позволяет увеличить производительность за счёт интенсификации процессов конденсации. Впервые предложена математическая модель теплового баланса, которая учитывает влияние теплового насоса на процессы опреснения. Данная модель прошла успешную валидацию на основе экспериментальных данных, что делает её применимой для дальнейших исследований и разработки подобных систем. В рамках исследования были рассмотрены две конфигурации подключения теплового насоса к солнечному дистиллятору. В первой конфигурации испаритель теплового насоса находился внутри солнечного дистиллятора, для которой были проведены как экспериментальные, так и численные исследования. Вторая конфигурация была исследована только численно, где испаритель и конденсатор теплового насоса также находились внутри солнечного дистиллятора.

Практическая значимость работы. Практическая значимость данной работы заключается в её потенциале для решения проблемы водоснабжения в отдалённых и засушливых регионах. Разработанная интегрированная система солнечного опреснителя с тепловым насосом предназначена для автономного производства пресной воды, что делает её особенно актуальной для регионов с ограниченными

ресурсами и удалённостью от централизованных систем водоснабжения. Система может работать без внешнего источника энергии, что существенно снижает эксплуатационные расходы, делая её экономически выгодным решением для таких мест.

Разработанный прототип системы демонстрирует высокую эффективность опреснения, и его конструкция может быть масштабирована для создания более крупных установок, способных обеспечить водой не только небольшие поселения, но и целые регионы. Кроме того, математическая модель, предложенная в рамках работы, может быть использована для оптимизации и проектирования будущих опреснительных установок, что позволит инженерам разрабатывать системы с улучшенными характеристиками и меньшими затратами на эксплуатацию.

Данное исследование также предоставляет основу для модернизации существующих опреснительных установок. Внедрение предложенной системы с тепловым насосом может существенно повысить производительность и снизить энергозатраты текущих технологий опреснения. Таким образом, результаты работы могут способствовать развитию экологически чистых технологий водоснабжения, что является важным шагом на пути к устойчивому развитию регионов, испытывающих нехватку пресной воды.

Связь работы с государственными научными программами. Данная работа выполнена в рамках следующих проектов:

- «Моделирование и разработка системы солнечного теплового насоса для опреснения морской воды в условиях Юго-Западного региона Казахстана» (2023-2025 гг., AP19175769)

- «Разработка солнечного теплового опреснителя на основе теплового насоса» (2022-2024 гг., AP14871988).

Индивидуальный вклад докторанта в подготовку статей.

Докторант самостоятельно сформулировал научную проблему и цели исследования, разработал экспериментальную установку для первой конфигурации солнечного дистиллятора с тепловым насосом и провёл необходимые эксперименты. Также докторант разработал математическую модель теплового баланса системы и выполнил численные исследования для обеих конфигураций. Докторант проанализировал полученные результаты и провёл сравнение между экспериментальными данными и численной моделью, выполнил литературный обзор, подготовил графики и схемы, а также занимался оформлением и подачей статей в научные журналы.

2 статьи в международном научном издании, входящем в базу данных Scopus и/или WoS:

1. D. Baimbetov, Ye.Karlina, Ye.Yerdesh, S.Syrlybekkyzy, A.Toleukhanov, M.Mohanraj, Ye.Belyayev. Thermal analysis of a compression heat pump-assisted solar still for Caspian regions of Kazakhstan // Springer Nature, Journal of Thermal Analysis and

Calorimetry (2024). <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13446-4> (WoS: Квартиль – Q2, Scopus: Процентиль – 87, SJR – 0.585). Автор диссертации участвовал в постановке задачи, разработке программного кода, проведении расчетов и оформлении статьи. Является первым автором.

2. Baimbetov, D.; Yerdesh, Y.; Karlina, Y.; Syrlybekkyzy, S.; Radu, T.; Mohanraj, M.; Belyayev, Y. / Numerical Estimation of Potable Water Production for Single-Slope Solar Stills in the Caspian Region // MDPI. Water 2024, 16, 2980. doi.org/10.3390/w16202980. (WoS: Квартиль – Q2, Scopus: Процентиль – 84, SJR – 0.724)

3. S.Syrlybekkyzy, A.Zhidebayeva, A.Aitimova, D. Baimbetov, L.Taizhanova DEVELOPMENT AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF NEW DESIGNS OF SOLAR DESALINATION POOLS FOR THE PRODUCTION OF FRESH WATER IN HOT CLIMATES // National Academy of Science Republic of Kazakhstan, News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences (стр. 179-195, №4, 2024). <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.418> (WoS: Квартиль – Q3, Scopus: Процентиль – 42, SJR – 0.378). Автор диссертации участвовал в постановке задачи, разработке программного кода, проведении расчетов и оформлении статьи

1 статья в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования (КОКСНВО) РК для опубликования основных результатов научной деятельности:

1. Е.И. Карлина, Е.Б. Ердеш, Д.Б. Баймбетов, И.Б. Джамакеев, М. Моханрадж, Е.К. Беляев. «*ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВУХФАЗНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ИСПАРИЕНИИ И КОНДЕНСАЦИИ ВНУТРИ СОЛНЕЧНОГО ДИСТИЛЛЯТОРА*» была опубликована в журнале «Вестник Казахстанского-Британского технического Университета» входящий в перечень изданий, рекомендуемых КОКСНВО МНВО РК(<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2024-21-3-281-301>). Автор диссертации участвовал в постановке задачи, разработке программного кода, проведении расчетов и оформлении статьи.

2 тезиса на международных научных конференциях:

1. D. Baimbetov. Experimental and Numerical Study of Solar Still for the Caspian Region of Kazakhstan // The 19 th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems(SDEWES-2024) (University of Sapienza, Rome, Italy), Выступал докладом.

2. D. Baimbetov. Thermal performance analysis of a heat pump assisted regenerative solar still // 3rd Journal of thermal analysis and Calorimetry Conference and 9th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference 2023 / June 20–23, 2023 / Balatonfüred, Hungary.