

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Алхарбави Насир Тавфик Алван «Экспериментально теоретическое исследование орошения воды с использованием солнечной энергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

**Актуальность темы.** Диссертационная работа посвящена решению одной из актуальных проблем, связанных с дефицитом пресной воды в мире с применением технологии солнечной дистилляции. Емкостная солнечная дистилляция - перспективная технология возобновляемой энергетики, которая может быть использована для производства питьевой воды.

Основными преимуществами систем солнечной дистилляции являются простота конструкции, низкие требования к обслуживанию и безопасность. Однако суточная, сезонная и погодная нестабильности солнечного излучения снижают их производительность.

Диссертационная работа посвящена повышению производительности солнечного дистиллятора путем его модификации и применения усовершенствованных методов и новых технологий испарения и конденсации внутри дистиллятора. Эффективные малогабаритные системы для целей дистилляции воды с использованием солнечной энергии просты в использовании, производстве и эксплуатации.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, основных выводов, списка сокращений и приложений. Диссертация изложена на 207 страницах, включая 98 рисунков, 26 таблиц, 5 приложений. Список цитируемой литературы содержит 134 наименования.

**В введении** рассмотрена общая постановка проблемы, обоснована актуальность, указаны объект и предмет исследования. Сформулированы цель, основные задачи, представлена научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость полученных результатов и представлены основные защищаемые положения.

**В первой главе** проведен обзор литературных данных по проблеме дефицита пресной воды в мире и сравнение источников энергии, необходимых для преобразования соленой или неочищенной воды в пресную. Показано, что наиболее целесообразными из них являются возобновляемые источники энергии с точки зрения дешевизны, доступности и отсутствия негативного влияния на окружающую среду. Применение

солнечной энергии для охлаждения морской воды с помощью солнечных дистилляторов является перспективным решением.

В главе рассмотрены различные типы пассивных и активных солнечных дистилляторов и факторы, влияющие на их производительность. Автор указывает на проблему недостаточного производства солнечных дистилляторов, что связано с их зависимостью от солнца как источника энергии, которая всегда колеблется (непостоянство солнечного излучения). В связи с этим в работе предложены варианты повышения производительности солнечных дистилляторов с различными модификациями, при этом успех каждой модификации определялся наличием материалов для производства дистиллята и производственной стоимостью дистиллированной воды.

Соискателем была сформулирована задача работы, направленная на теоретическое и экспериментальное изучение процессов термической дистилляции, получение новых знаний, способствующих расширению использования солнечной энергии в системах дистилляции необработанной воды, а также развитию методов и технологий увеличения продуктивности и эффективности малоразмерных систем солнечной дистилляции простых в изготовлении и эксплуатации.

**Вторая глава** посвящена описанию экспериментальных установок, разработанных для проведения исследований процессов интенсификации методов испарения воды и конденсации водяного пара в солнечном дистилляторе. В главе представлены технические описания основных узлов и агрегатов экспериментальных установок, а также методы, которые использовались для проведения экспериментов и обработки их результатов. В работе приведено описание шести экспериментальных установок для солнечной дистилляции, построенных на основе эталонной системы — традиционного (эталонного) солнечного дистиллятора объемного типа.

Описаны особенности установок, их конструкции и габариты. В установке первой модификации применяется вращающийся полый цилиндр внутри солнечного дистиллятора для ускорения испарения воды в ёмкости путем образования тонкой пленки воды на внешней и внутренней поверхностях цилиндра, которая обновляется с каждым оборотом. Для повышения температуры воды в бассейне под цилиндром используется внешний солнечный коллектор. Стандартная скорость вращения полого цилиндра внутри солнечного дистиллятора составляет 0,5 об/мин.

Вторая модификация представляет собой гибридную технологию увеличения межфазной поверхности и повышения эффективности конденсации внутри солнечного дистиллятора путем применения

диффузионно-абсорбционного                   холодильника                   с                   солнечным  
энергоснабжением.

Третья модификация также представляет собой гибридную технологию увеличения межфазной поверхности и повышения эффективности испарения внутри солнечного дистиллятора путем применения ультразвуковых увлажнителей в солнечном дистилляторе.

Четвертая модификация включает использование металлического пленочного конденсатора с усовершенствованием методов конденсации для пленочного солнечного дистиллятора путем установки алюминиевого канала в верхней части солнечного дистиллятора, который естественным образом охлаждается окружающим воздухом.

В пятой модификации для гарантированного устойчивого распределения и смачивания поверхности использовалось покрытие абсорбирующей пластины хлопковой тканью, для понижения температуры в зоне конденсации в верхней части солнечного дистиллятора устанавливался алюминиевый канал, охлаждаемый термоэлектрическими элементами.

**Третья глава** посвящена теоретическому анализу традиционных (эталонных) и модифицированных солнечных дистилляторов с вращающимся полым цилиндром и внешним водосборником. Проведено моделирование процессов испарения и конденсации в солнечном дистилляторе для получения полного описания тепломассопереноса и исследования влияния различных параметров на производительность и эффективность солнечной дистилляции. Для предварительной оценки эффективности солнечных дистилляторов разработана математическая модель, выполнен теоретический анализ и экспериментальная валидация результатов расчетов с использованием языка программирования FORTRAN 90.

В качестве первого шага к созданию теоретической модели солнечной дистилляционной системы был проведен баланс тепловой энергии для каждого компонента этой системы, которая включала в себя плоский солнечный коллектор, облицовку емкости, воду в емкости, вращающийся полый цилиндр и крышку из оргстекла. Для каждого компонента были написаны уравнения баланса энергии, с помощью которых были спрогнозированы температуры в различных точках солнечного дистиллятора. Данное моделирование было проведено итеративно, чтобы получить результаты для различных параметров (температуры в разных точках, часовая производительность и термический КПД). Используемый временной шаг равнялся 0,5 с.

**Четвертая глава** включает результаты экспериментальных и теоретических исследований установки солнечной дистилляции с модификациями и без них. Эта глава состоит из шести следующих разделов:

В разделе 1 представлены экспериментальные и теоретические результаты первой модификации, включающей вращающийся полый цилиндр и внешний солнечный коллектор (СДПЦСК).

В разделе 2 представлены экспериментальные результаты второй модификации, с использованием солнечного дистиллятора с фотоэлектрическим диффузионно-абсорбционным холодильником (СДДАХ).

В разделе 3 показаны экспериментальные результаты третьей модификации, включающей в себя три ультразвуковых увлажнителя в емкости внутри солнечного дистиллятора (СДУУ).

В разделе 4 представлены экспериментальные результаты четвертой модификации, состоящей из пленочного солнечного дистиллятора с алюминиевой конденсационной пластиной (ПСДАКП).

В разделе 5 приведены результаты экспериментальных исследований пятой модификации, включающей в себя пленочный солнечный дистиллятор с тканевой испарительной поверхностью и термоэлектрическим алюминиевым каналом. (ПСДТАК).

Раздел 6 содержит сравнение экспериментальных данных с результатами теоретической модели (для первой модификации) и далее проведено сравнение пяти модификаций, рассмотренных в диссертации. Самая высокая производительность была зафиксирована у дистиллятора с полым цилиндром и внешним солнечном коллектором воды (СДПЦСК), которая составляла  $12,5 \text{ л}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ , при производительности традиционного солнечного дистиллятора  $3,1 \text{ л}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ . Были определены оптимальные модификации по производительности и стоимости, и их сравнение с исследованиями других авторов.

**В главе 5** проведен подробный экономический анализ стоимости орошения одного литра воды. Представлены результаты анализа физико-химических свойств пресной воды, полученной в солнечном дистилляторе, и проб технической и питьевой воды. Результаты показали, что лучшая стоимость производства ( $0,026\$$ ) была у солнечного дистиллятора с вращающимся полым цилиндром и внешним солнечным коллектором (СДПЦСК).

Сравнение с предыдущими исследованиями показало, что стоимость производства модифицированного солнечного дистиллятора, предложенного в диссертации, сопоставима с полученной в предыдущих исследованиях.

**Физико-химические испытания образцов дистиллированной воды, полученной на предлагаемых установках, показали лучшие результаты по сравнению с российскими и международными стандартами свойств питьевой воды.**

**В заключении** сформулированы результаты и выводы по диссертации.

**Научная новизна** и научная ценность рассматриваемой диссертационной работы подтверждается следующими результатами:

- Предложена гибридная технология повышения эффективности испарения внутри солнечного дистиллятора;
- Предложены новые гибридные технологии увеличения межфазной поверхности за счет применения диффузионно-абсорбционного холодильника, ультразвуковых увлажнителей и металлического пленочного конденсатора;
- Впервые использован алюминиевый канал, охлаждаемый термоэлектрическими элементами для понижения температуры в зоне конденсации в верхней части солнечного дистиллятора и покрытие абсорбирующей пластины хлопковой тканью, позволяющие получать гарантированное устойчивое распределение и смачивание поверхности.

### **Степень обоснованности и достоверности научных результатов, выводов и положений**

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием известных, зарекомендовавших себя методов расчета, проверенного программного обеспечения, а также сравнением полученных данных с экспериментальными данными других авторов.

Основные результаты представлены в 25-ти публикациях, из них 15 статей опубликованы в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science; 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ; 5 тезисов в сборниках международных и российских научных конференций.

Автореферат по своему содержанию и выводам соответствует диссертации.

### **Замечания и вопросы:**

1. В цели работы указано, что исследования проводятся для различных климатических условий. В выводах же об этом ничего не говориться. Цель не достигнута?

2. Насколько актуально проводить исследования в условиях Екатеринбурга? Как выводы, полученные для данных климатических условий, коррелируются с данными, полученными другими исследователями для стран с высокой солнечной инсоляцией?

3. Научная новизна: «Доказано, что эффективность испарения определяется температурой жидкости...». Разве это надо доказывать? Это очевидно.

4. Какие критерии использовались при определении модификации опреснителей по отношению к традиционным солнечным дистилляторам?

5. Исследовалось ли влияние облачности и запыленности воздуха на производительность опреснителей?

6. Для процесса дистилляции в условиях недостаточного поступления солнечного излучения требуется дополнительный подогрев воды. Будут ли эффективны установки в данном случае?

7. Как определялась оптимальная скорость полого цилиндра?

8. Каковы преимущества разработанных соискателем установок по сравнению с существующими?

9. Чему равна себестоимость производства 1 м<sup>3</sup> воды? Каков КПД установок?

10. Где планируется применение модификаций дистилляторов? Какова их ориентировочная стоимость?

Указанные замечания и вопросы не носят принципиальный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

### **Общее заключение**

Диссертационная работа Алхарбави Насир Тавфик Алван «Экспериментально теоретическое исследование опреснения воды с использованием солнечной энергии» соответствует паспорту специальности 05.14.08 – энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии и представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. В ней решена важная научно-техническая задача, в которой выявлены зависимости энергетических и экономических показателей солнечных дистилляторов, что создаёт теоретическую основу для разработки перспективных солнечных дистилляционных установок.

Выводы и рекомендации имеют достаточно обоснованный характер. Результаты проведенных исследований опубликованы в печатных изданиях в международных журналах, в том числе рекомендованных ВАК РФ, доложены и обсуждены на конференциях всероссийского и международного уровня.

Проверка основного текста диссертации в системе «Антиплагиат ВУЗ» показала ее достаточную итоговую оригинальность по отношению к ранее опубликованным работам, на заимствованный и указанный в тексте диссертации материал или отдельные результаты приведены соответствующие ссылки на автора и (или) источник заимствования таких материалов или результатов.

По своей актуальности, объему выполненных исследований, научному содержанию, новизне и практической значимости результатов работа полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Алхарбави Насир Тавфик Алван заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Официальный оппонент

 Кирпичникова Ирина Михайловна

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» г. Челябинск

454080, Россия, г. Челябинск, пр-т им. В.И.Ленина, 76.

E-mail: [kirpichnikovaim@susu.ru](mailto:kirpichnikovaim@susu.ru)

Рабочий телефон: 8(351) 267-98-94

09.11.2021

Подпись Кирпичниковой И. М. заверяю:



Кирпичникова  
ВЕРНО  
Начальник службы  
делопроизводства ЮУА  
Н.В. Циуллина