

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, старшего научного сотрудника Куколева Максима Игоревича на диссертацию Алхарбави Насира Тавфика Алвана «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»

**1. Актуальность темы диссертационного исследования** обусловлена необходимостью повышения производительности солнечных дистилляторов различных конструктивных схем. Это связано с тем, что, как справедливо отмечает автор, солнечная дистилляция емкостного типа является перспективной технологией возобновляемой энергетики. Её можно использовать для снижения остроты проблемы дефицита пресной воды. В то же время, методы и технологии увеличения продуктивности и эффективности малоразмерных систем солнечной дистилляции, простых в изготовлении и эксплуатации, развиты в недостаточной степени.

Таким образом, актуальность диссертации, посвященной теоретическому и экспериментальному исследованию процессов испарения соленой воды и конденсации пара с целью модификации и применения новых технологий для повышения производительности солнечного дистиллятора при минимально возможных капитальных и эксплуатационных затратах для различных климатических условий, сомнений не вызывает.

**2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Обоснованность основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы базируется на использовании теоретических и экспериментальных методов исследования с применением современных программных средств и соответствующего оборудования.

Данные были получены автором путем проведения экспериментальных исследований на созданных установках.

**3. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Среди совокупности новых научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, необходимо выделить:

1) Предложена гибридная технология повышения эффективности испарения внутри солнечного дистиллятора путем увеличения межфазной поверхности и температуры жидкости с использованием врачающегося полого цилиндра и внешнего солнечного коллектора.

2) Предложена гибридная технология повышения эффективности конденсации внутри солнечного дистиллятора путем применения диффузионно-абсорбционного холодильника с солнечным энергоснабжением.

3) Предложена новая технология увеличения межфазной поверхности и повышения эффективности испарения внутри солнечного дистиллятора путем применения ультразвуковых диспергаторов воды в объеме солнечного дистиллятора.

4) Предложена новая технология увеличения межфазной поверхности и повышения эффективности конденсации с использованием металлического пленочного конденсатора.

5) Едва ли не впервые предложено усовершенствование процесса конденсации для плечного солнечного дистиллятора путем установки алюминиевого канала в верхней части солнечного дистиллятора, который естественным образом охлаждается окружающим воздухом.

6) Предложена новая технология понижения температуры в зоне конденсации в верхней части солнечного дистиллятора путем установки алюминиевого канала, охлаждаемого термоэлектрическими элементами.

8) Разработана математическая модель для предварительной оценки эффективности солнечных дистиллятов в различных климатических условиях, проведена её валидация.

**4. Практическая ценность диссертации** заключается в следующем:

1. Предложена расчетная модель для оценки работы солнечных дистилляторов в различных климатических условиях.

2. Получены новые экспериментальные результаты, по которым оценены производительность и эффективность модифицированных типов солнечных дистилляторов.

**5. Содержание диссертационной работы.**

Рассматриваемая работа содержит 207 с. машинописного текста, в т.ч. список литературы (134 источника) и 5 приложений. Материал диссертации размещен в пяти главах, включает 98 рисунков и 26 таблиц.

Во введении обоснована актуальность диссертации; определены объект и предмет исследований; сформулированы цель и задачи работы; обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость представляемых материалов; сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературных источников по рассматриваемому вопросу. Проанализированы типы солнечных дистилляторов, их достоинства и недостатки. Сделан вывод, что односторонние солнечные дистилляторы поглощают большее количество солнечного излучения по сравнению с аналогичными двухсторонними солнечными дистилляторами как в северных, так и в южных широтах.

Производительность солнечных дистилляторов бассейнового типа относительно невысока. Было проведено много экспериментальных и аналитических исследований солнечных дистилляторов с одной емкостью с целью повышения их эффективности и производительности. Усилия сосредотачивались на основных факторах, влияющих на производительность устройств. Основные преимущества солнечной дистилляции бассейнового типа заключаются в простоте их конструкции, низких требованиях к обслуживанию, высокой маневренности и безопасности эксплуатации. Тем не менее, непостоянство солнечного излучения отрицательно влияет на производительность этих систем и повышение эксплуатационных характеристик солнечных дистилляторов воды является сложной задачей.

Рассматриваемая диссертация позволяет расширить область научных знаний о применении солнечной энергии в системах дистилляции необработанной воды, а также развитию методов увеличения эффективности малоразмерных систем солнечной дистилляции, простых в изготовлении, установке и транспортировке.

Во второй главе приводится описание экспериментальных установок, разработанных для улучшения методов испарения и конденсации внутри солнечного дистиллятора с использованием современных технологий. Даны технические описания основных элементов и узлов экс-

периментальных установок, а также методик проведения экспериментов и обработки результатов самого эксперимента. Рассмотрены шесть экспериментальных установок:

1. С традиционным солнечным дистиллятором (ТСД, эталонная);
2. Солнечный дистиллятор на основе применения вращающегося полого цилиндра и внешнего солнечного коллектора (СДПЦСК);
3. Солнечный дистиллятор с фотоэлектрическим диффузионно-абсорбционным холодильником (СДДАХ);
4. Солнечный дистиллятор с ультразвуковым увлажнителем (СДУУ);
5. Пленочный солнечный дистиллятор с алюминиевой конденсационной пластиной (ПСДАКП);
6. Пленочный солнечный дистиллятор с тканевой испарительной поверхностью и термоэлектрическим алюминиевым каналом (ПСДТАК).

**Третья глава** посвящена теоретическому анализу традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов воды с вращающимся полым цилиндром и внешним солнечным коллектором воды. Анализ включал описание и моделирование процессов испарения и конденсации (тепломассопереноса) в солнечных дистилляторах. Расчетные модели учитывают влияние различных параметров на производительность и термический КПД солнечного дистиллятора. Начальные условия моделирования были заданы для нулевого момента времени и далее, с временным шагом 0,5 с, определялись значения температуры. В конце расчёта определялись совокупная производительность дистилляции воды и термический КПД.

В **четвертой главе** приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований солнечного дистиллятора различных конструкций. Экспериментальные данные были проверены путем сравнения их с расчётными и данными исследований других авторов.

Для первой модификации, СДПЦСК, производительность опреснения воды была выше, чем у традиционного дистиллятора во все типичные дни. Самая высокая производительность была достигнута в июле и составил 3,1 литра в традиционном дистилляторе и 12,5 литров в модифицированном дистилляторе. Самый низкий уровень производительности был в октябре, что составляло 0,7 литра в традиционном дистилляторе в сравнении с 3,5 литра в модифицированном дистилляторе. Также было отмечено, что результаты теоретической модели хорошо совпали с экспериментальными данными. Относительное расхождение составляет 4% по температуре и 8% по производительности.

Для второй модификации, СДДАХ, совокупная производительность дистилляции воды в дневное время составила  $7,74 \text{ л}/\text{м}^2$  для модифицированного дистиллятора и  $2,2 \text{ л}/\text{м}^2$  для традиционного дистиллятора, в ночное время (с 20:00 до 8:00) она составила  $2,6 \text{ л}/\text{м}^2$  и  $0,46 \text{ л}/\text{м}^2$  соответственно.

Для третьей модификации, СДУУ, совокупная производительность дистилляции воды в модифицированном дистилляторе была выше, чем у традиционного дистиллятора –  $4.2 \text{ л}/\text{м}^2$  и  $2,5 \text{ л}/\text{м}^2$ , соответственно.

Для четвертой модификации, ПСДАКП, совокупная производительность дистилляции воды составила  $0,8 \text{ л}/\text{м}^2$  (при стеклянной крышке –  $0,555 \text{ мл}/\text{м}^2$ ).

Для пятой модификации, ПСДТАК, совокупная производительность дистилляции воды была выше и составила  $1,29 \text{ л}/\text{м}^2$  (при стеклянной крышке –  $0,615 \text{ л}/\text{м}^2$ ).

Автор также выполнил сравнение эффективности всех модификаций. Результаты показали, что самая высокая производительность была зафиксирована у дистиллятора с полым цилиндром и внешним солнечным коллектором воды (СДПЦСК). Она составляла 12,5 л/м<sup>2</sup>·сут при 3,1 л/м<sup>2</sup>·сут у традиционного солнечного дистиллятора (ТСД).

В пятой главе рассматриваются результаты экономического анализа стоимости производства одного литра дистиллированной воды. В эту главу также включены результаты анализа физико-химических свойств полученной дистиллированной воды. Результаты показали, что стоимость производства воды из модифицированных солнечных дистилляторов в работе сопоставима с полученной другими авторами, а самая низкая удельная стоимость достигнутая в первой модификации (СДПЦСК) была равна 0,026 доллара, что соответствует лучшим образцам. Автор отмечает, что выполненные химические и физические испытания производимой дистиллированной воды показали хорошее соответствие местным и международным требованиям к качеству пригодной для использования воды.

В заключении приведены итоги выполнения работы.

**6. Общая оценка диссертации**, в целом, положительная. Поставленная цель исследования достигнута. Обозначенные задачи решены. Научные и практические результаты исследования представляют несомненный интерес для научных, проектных и конструкторских организаций, специализирующихся в области методов и технологий увеличения продуктивности и эффективности систем солнечной дистилляции.

Благоприятное впечатление производит факт широкой апробации основных результатов работы. Они 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.

## 7. Замечания:

- 1) Что автор понимает под «традиционным» солнечным дистиллятором?
- 2) Необходимо обосновать критерии выбора габаритов всех модификаций солнечных дистилляторов. Чем они отличаются от существующей конструкции?
- 3) Почему самые высокие значения термического КПД были в октябре, а самые низкие - в июле для первой модификации (СДПЦСК)?
- 4) Почему для первой модификации (СДПЦСК) были выбраны эти типичные дни (19 июня, 17 июля, 22 августа, 15 сентября и 2 октября.)?
- 5) В уравнении (3-2) на стр. 80 дисс. присутствует составляющая  $Q_u$ . На стр. 81 дисс она названа «полезной энергией от солнечного коллектора», хотя (судя по уравнению) это мощность, а не энергия.
- 6) На стр. 81 дисс. не определена составляющая  $S$  из уравнения (3-1). Что это за величина? Кстати, в списке сокращений на стр. 180 дисс., это одновременно и «Остаточная стоимость солнечного орошения воды», и «Standard deviation».
- 7) Необходимо пояснить формулировку на стр. 156 дисс.: «...повышение производительности за счет естественного потока влажного воздуха (свободная конвекция) через алюминиевую пластину...». Как это «через»?
- 8) Выводы 5 и 7 на стр. 177 дисс. слишком расплывчаты и относительны!

Указанные замечания не снижают ценности проведенного исследования.

Автореферат соответствует диссертации и в достаточной степени дает представление об основных положениях работы.

### Заключение.

Диссертация «Экспериментально теоретическое исследование орошения воды с использованием солнечной энергии» является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные результаты теоретического и экспериментального исследования процессов испарения соленой воды и конденсации пара с целью модификации и применения новых технологий для повышения производительности солнечного дистиллятора при минимально возможных капитальных и эксплуатационных затратах для различных климатических условий.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»». Её 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

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор Высшей школы гидротехнического  
и энергетического строительства

 Куколев Максим Игоревич

«09» 11 2021 г.

Инженерно-строительный институт  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого»  
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29  
Тел.: (812) 552-64-01;  
e-mail: maksim.kukolev@spbstu.ru

Я, Куколев Максим Игоревич, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Алхарбави Насира Тавфик Алвана, и их дальнейшую обработку.



/Куколев Максим Игоревич/ «09» 11 2021 г.

