

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина»



На правах рукописи

Алхарбави Насир Тавфик Алван

**Экспериментально теоретическое исследование опреснения
воды с использованием солнечной энергии**

05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2021

Работа выполнена на кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
ЩЕКЛЕИН Сергей Евгеньевич

Официальные оппоненты: **Кирпичникова Ирина Михайловна**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, заведующий кафедрой «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»;

Пахомов Максим Александрович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник лаборатории термогазодинамики;

Куколев Максим Игоревич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор Высшей школы «Гидротехническое и энергетическое строительство» Инженерно-строительного института

Защита состоится «25» ноября 2021 г. в 14:00 ч на заседании диссертационного совета УрФУ 05.03.04 по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-420 (зал Ученого совета)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?d=12&rid=2887>

Автореферат разослан «___» _____ 2021

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ташлыков Олег Леонидович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Одна из самых важных проблем в мире – дефицит пресной воды. Возможно, большинство из нас нехватка воды не затрагивает, но от дефицита воды непосредственно страдают сотни миллионов людей каждый день своей жизни. Согласно статистике Всемирной организации здравоохранения, в 2020 году почти 800 миллионов человек не имеют ежедневного доступа к чистой воде. Почти 3 миллиона человек умирают каждый год из-за отсутствия чистой воды, и большинство из них (99%) проживает в развивающихся странах. Согласно программе Организации Объединенных Наций по окружающей среде, к 2025 году ожидается значительное усугубление дефицита пресной воды по сравнению с 1995 годом. Для получения пресной воды требуется источник энергии для преобразования соленой или неочищенной воды в пресную. Большинство крупных предприятий по опреснению воды по всему миру в качестве источника энергии используют ископаемое топливо (например, уголь, нефть и природный газ). Но это дорого, не во всех частях света доступно и оказывает негативное воздействие на окружающую среду в сравнении с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная энергия. Применение солнечной энергии для опреснения морской воды является перспективным решением. Одним из практических способов применения солнечной энергии для производства пресной воды из соленой является солнечная дистилляция воды. Дистилляционный процесс включает в себя два подпроцесса – естественное испарение и естественная конденсация, в ходе которых происходит удаление примесей, таких как соли и бактерии, и получение питьевой воды. Солнечная дистилляция емкостного типа является перспективной технологией возобновляемой энергетики, которая может использоваться для производства питьевой воды с помощью солнечной тепловой энергии. Основные преимущества этих систем заключаются в простоте их конструкции, низких требованиях к обслуживанию, и безопасности эксплуатации. Тем не менее, непостоянство солнечного излучения отрицательно влияет на производительность этих систем, что приводит к их низкой производительности. Данное исследование направлено 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.

Повышение производительности солнечных дистилляционных установок является **актуальной** задачей для создания новых технологий и образцов техники, развивающих приоритетное направление развития науки, техники и технологий в Российской Федерации: Пункт 8 (Энергоэффективность, энергосбережение и атомная энергетика).

Объектом исследования является солнечная дистилляционная система для преобразования соленой воды в пресную.

Предмет исследования – модификация солнечного дистиллятора воды путем применения усовершенствованных методов и новых технологий испарения и конденсации.

Цель работы - теоретическое и экспериментальное исследование 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.

Задачи исследования:

1. Создание традиционного солнечного дистиллятора (ТСД), который станет эталоном для других экспериментальных установок с точки зрения производительности.
2. Разработка и создание установки для изучения возможностей повышения производительности солнечного дистиллятора на основе вращающегося полого цилиндра и внешнего солнечного коллектора (СДПЦСК).
3. Разработка и создание установки для изучения возможностей повышения производительности солнечного дистиллятора путем применения в солнечном дистилляторе диффузионно-абсорбционного холодильника (СДДАХ).
4. Разработка и создание установки для изучения возможностей повышения производительности солнечного дистиллятора путем применения в солнечном дистилляторе ультразвуковых увлажнителей (СДУУ).
5. Разработка и создание установки пленочного солнечного дистиллятора с алюминиевой конденсационной пластиной (СДАКП).
6. Разработка и создание установки пленочного солнечного дистиллятора с тканевой испарительной поверхностью и термоэлектрическим конденсирующим каналом. (СДТАК).
7. Проведение теоретического анализа традиционного солнечного дистиллятора и модифицированного солнечного дистиллятора (СДПЦСК). Для проведения теоретических расчетов использовался язык программирования FORTRAN 90.
8. Проведение анализа и сравнения экспериментальных и теоретических результатов традиционных и модифицированных и новых конструкций солнечных дистиллятов.

Научная новизна исследования:

1. Доказано что эффективность испарения определяется как температурой жидкости, так и величиной межфазной поверхности. Предложена гибридная технология повышения эффективности испарения внутри солнечного дистиллятора путем увеличения межфазной поверхности и температуры жидкости с использованием вращающегося полого цилиндра и внешнего солнечного коллектора.
2. Показано, что эффективность конденсации определяется температурой охлаждаемого участка. Предложено 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. Впервые предложено усовершенствование методов конденсации для пленочного солнечного дистиллятора путем установки алюминиевого канала в верхней части солнечного дистиллятора, который естественным образом охлаждается окружающим воздухом.
6. Впервые предложено для повышения гарантированное устойчивого распределения и смачивания поверхности, использования хлопчатобумажной ткани путем покрытия абсорбирующей пластины хлопковой тканью.
7. Предложена новая технология понижения температуры в зоне конденсации в верхней части солнечного дистиллятора путем установки алюминиевого канала, охлаждаемого термоэлектрическими элементами.
8. Для предварительной оценки эффективности солнечных дистиллятов в различных климатических условия, разработана математическая модель, выполнен теоретический анализ и экспериментальная валидация результатов расчетов с использованием языка программирования FORTRAN 90.
9. Применение теоретической модели для расчетов дистиллятора с вращающимся полым цилиндром и внешним солнечным коллектором показали хорошее соответствие модели данным эксперимента.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в физическом обосновании путей повышении производительности и эффективности солнечных дистилляторов.
- построения математической модели, позволяющей оценку производительности солнечных дистилляторов в различных климатических условиях.
- получение новых экспериментальных результатов по оценке эффективности солнечных дистиллятов модифицированных и новых типов.

Методология и методы диссертационного исследования

Для исследования процессов солнечной дистилляции воды использовались основные теоретические положения тепломассообмена при испарении и конденсации. Для оценки производительности и эффективности солнечной дистилляции, выполнялось синхронное изучение процессов испарения и конденсации. При проведении экспериментальных исследований привлекались методы нестационарного теплообмена. Для проведения теоретических расчетов использовался язык программирования FORTRAN 90. Теоретическая модель системы основана на составлении баланса тепловой энергии для каждого компонента этой системы. Для каждого типа модифицированных и новых дистилляционных систем проводилось сравнение экспериментальных и теоретических результатов и сравнение с результатами, полученными другими авторами.

Личный вклад автора

Работа выполнена под научным руководством д.т.н. Щеклеина С.Е., д.т.н. Большая часть работы выполнена автором самостоятельно. Им проведен комплекс экспериментальных исследований, их обработка и анализ. Им разработана теоретическая модель и выполнен расчет с использованием языка программирования FORTRAN 90, а также выполнена подготовка материалов к публикации. Все основные результаты, обладающие научной новизной и выносимые на защиту, получены автором лично.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Результаты экспериментальных и теоретических исследований традиционного солнечного дистиллятора и модифицированного солнечного дистиллятора (солнечного дистиллятора на основе применения вращающегося полого цилиндра с внешним солнечным коллектором (СДПЦСК)).
2. Результаты экспериментальных исследований солнечного дистиллятора с фотоэлектрическим диффузионно-абсорбционным холодильником (СДДАХ).
3. Результаты экспериментальных исследований солнечного дистиллятора с ультразвуковыми увлажнителями (СДУУ).
4. Результаты экспериментальных исследований пленочного солнечного дистиллятора с алюминиевой конденсационной пластиной (СДАКП).
5. Результаты экспериментальных исследований пленочного солнечного дистиллятора с тканевой испарительной поверхностью и термоэлектрическим конденсирующим каналом. (СДТАК).
6. Оценка стоимости и качества производимой дистиллированной воды для всех предложенных модификаций и новых конструкций дистилляционных систем (СДПЦСК, СДДАХ, СДУУ, СДАКП, и СДТАК).

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

Апробация результатов работы. Подана заявка и получено положительное решение на изобретение РФ № 2020138271 «Энергонезависимая солнечная дистилляционная система непрерывного действия (варианты)».

Основные положения работы докладывались и обсуждались на 9-ти конференциях, в том числе:

1. 2020 8th International Conference on Applied Science and Technology, ICAST 2020; University of Kerbala, College of ScienceKarbala; Iraq; 15 April 2020 through 16 April 2020; Code 165421.
2. 1st International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials 2020, ICAPSM 2020; Coimbatore, Virtual; India; 13 August 2020 through 14 August 2020; Code 165967.
3. 3rd International Conference on Materials Engineering and Science, IConMEAS 2020; Kuala Lumpur; Malaysia; 28 December 2020 through 30 December 2020; Code 168222.

4. Первая Международная научная конференция по проблемам цифровизации: EDCRUNCH URAL — 2020: материалы конференции (Екатеринбург, 29–30 сентября 2020 г.). — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. — С. 406-418.
5. 4th Scientific Conference for Engineering and Postgraduate Research, PEC 2019; Middle Technical University, Institute of Technology- Baghdad and Electrical Engineering Technical College Baghdad; Iraq; 16 December 2019 through 17 December 2019; Code 158785.
6. 4th International Scientific and Technical Conference on Energy Systems, ICES 2019; Belgorod; Russian Federation; 31 October 2019 through 1 November 2019; Code 159053.
7. Труды четвертой научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», 2019. - 257 с.
8. Международный молодежный Даниловский энергетический форум (Всероссийская студенческая олимпиада с международным участием «Энерго-и ресурсосбережение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Атомная энергетика» — 2019).
9. XXXV сибирском теплофизическом семинаре, посвящённом 75-летию профессора Виктора Ивановича Терехова, Новосибирск, 2019.

Также они рассматривались на научных семинарах кафедры атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, в период с 2019 по 2020 гг.

Публикации. 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.

Диссертация была выполнена на кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Объем и структура работы

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во 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 выполненным на настоящее время работам, связанным с разработкой систем солнечной дистилляции. Даны общие технические характеристики, описание различных конструкций, методы солнечной дистилляции воды, принцип работы солнечного дистиллятора бассейнового типа, параметры, влияющие на производительность солнечного дистиллятора, и методы повышения производительности и эффективности солнечных дистилляторов. Показаны основные преимущества этих систем 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, что приводит к низкой производительности солнечных дистилляторов воды. На основании проведенного анализа состояния проблемы определены направления исследований и дана постановка задачи исследований. В работе предлагается использование нового эффективного подхода для увеличения производительности солнечного дистиллятора. Основная идея заключается в улучшении методов испарения и конденсации внутри солнечного дистиллятора на основе применения вращающегося полого цилиндра и внешнего солнечного коллектора, использования диффузионно-абсорбционного холодильника, использования ультразвукового увлажнителя, использования естественно охлаждаемой алюминиевой конденсирующей поверхности и использования термоэлектрических элементов для охлаждения алюминиевой конденсирующей поверхности (для снижения температуры поверхности конденсации).

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных установок для улучшения методов испарения и конденсации внутри солнечного дистиллятора. Даны технические описания основных элементов и узлов экспериментальных установок, а также методик проведения экспериментов и обработки результатов самого эксперимента.

На рисунке 1 представлена структурная схема экспериментальных установок, используемых в диссертационной работе. Кроме традиционного солнечного дистиллятора были спроектированы и сконструированы пять экспериментальных установок с повышенной продуктивностью опреснения воды. Экспериментальные установки были установлены на открытой площадке на крыше лаборатории кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского Федерального университета.



Рисунок 1. Экспериментальные установки, используемых в исследованиях

На рисунке 2 показана схема установки с применением вращающегося полого цилиндра внутри солнечного дистиллятора для ускорения испарения воды в ёмкости путем образования тонкой пленки воды на внешней и внутренней поверхностях цилиндра, которая с каждым оборотом постоянно обновлялась. Для повышения температуры воды в бассейне под цилиндром, применился внешний солнечный коллектор (СДПЦСК). Типичная скорость вращения полого цилиндра внутри солнечного дистиллятора 0,5 об/мин. При этой скорости вращения было достаточно времени, чтобы испарилась тонкая пленка воды с поверхности цилиндра. Проведены экспериментальные испытания в течение пяти месяцев с июня по октябрь 2019 г. Были выбраны пять типичных дней: 19 июня, 17 июля, 22 августа, 15 сентября и 2 октября 2019 г. с 08:00 до 20:00.

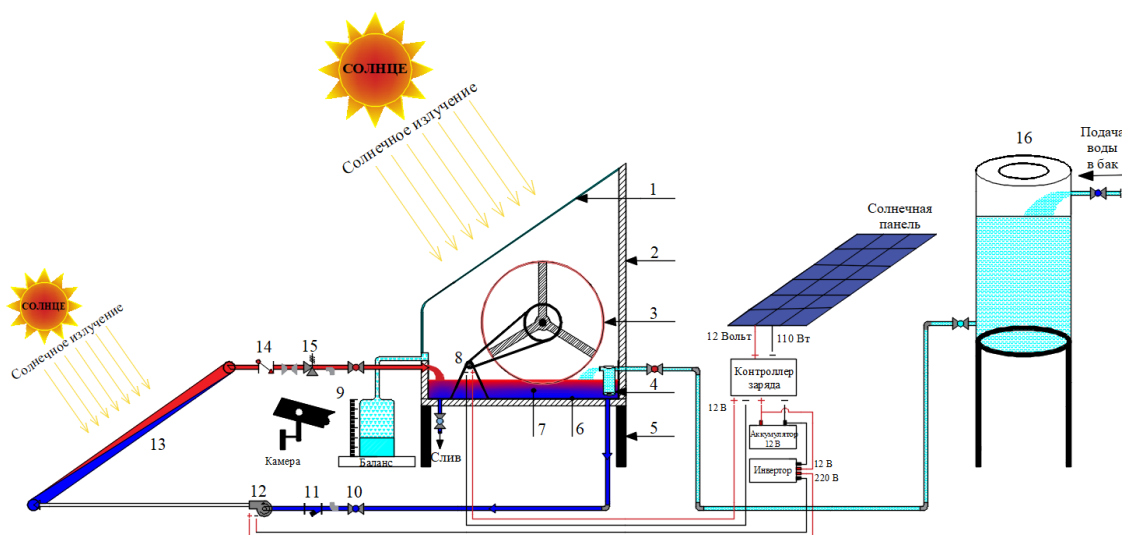


Рисунок 2. Принципиальная схема экспериментальной установки, СДПЦСК, 1- Крышка из оргстекла; 2- Деревянный лист МДФ; 3- Полый цилиндр; 4- Механический поплавок; 5- Металлические ножки; 6- Емкость с водой; 7- Вода в емкости; 8- Двигатель постоянного тока 12В; 9- Градуированный цилиндр; 10- Сферический клапан; 11- У-образный сетчатый фильтр воды; 12- Водяной насос; 13- Солнечный коллектор воды; 14- Обратный клапан; 15- Предохранительный клапан; 16- Резервуар воды.

3. Вода в емкости (w): для расчета температуры воды в емкости T_{bw} ;
4. Вращающийся полый цилиндр (h_c): для расчета температуры полого цилиндра T_{hc} ;
5. Крышка из оргстекла (g): для расчета температуры крышки из оргстекла T_g ;

После расчета полезной энергии и различных температур, была рассчитана почасовая совокупная производительность дистилляции воды и термический КПД традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов.

Чтобы начать анализ численного моделирования традиционного и модифицированного солнечного дистиллятора воды требуются начальные и граничные условия различных параметров. В них входят: температуры облицовки емкости (T_{bp}), воды в емкости (T_{bw}), полого цилиндра (T_{hc}), а также внутренней и внешней поверхностей крышки из оргстекла (T_{gi} и T_{go}). Исходные погодные параметры, такие как температура окружающего воздуха (T_a°) и скорость ветра (V_a°), конструктивные параметры, а также различные температурные параметры, такие как T_{go}° , T_{gi}° , T_{bp}° , T_{bw}° и T_{hc}° , были заданы в начале моделирования для нулевого момента времени. Затем определены значений температуры на следующем временном шагу:

1. Из начальных условий T_b° , T_w° , T_{hc}° , T_{gi}° , T_{go}° рассчитывался T_{bp}^1 на следующем временном шагу.
2. Из T_{bp}^1 , T_{bw}° , T_{hc}° , T_{gi}° , T_{go}° рассчитывался T_{bw}^1 на следующем временном шагу.
3. Из T_{bp}^1 , T_{bw}^1 , T_{hc}° , T_{gi}° , T_{go}° рассчитывался T_{hc}^1 на следующем временном шагу.
4. Из T_{bp}^1 , T_{bw}^1 , T_{hc}^1 , T_{gi}° , T_{go}° рассчитывался T_{gi}^1 на следующем временном шагу.
5. Из T_{bp}^1 , T_{bw}^1 , T_{hc}^1 , T_{gi}^1 , T_{go}° рассчитывался T_{go}^1 на следующем временном шагу.
6. Данное моделирование было проведено итеративно и используемый временной шаг равнялся 0,5 с.

В этой главе также выполнен подробный экономический анализ основных факторов, влияющих на стоимость опреснения одного литра воды, таких как капитальные затраты (CS) на изготовление и установку, фактор возврата капитала (CRF), фактор фонда возмещения (SFF), первые годовые затраты (FAC), годовая остаточная стоимость (ASV), годовая стоимость обслуживания (AMC), годовая стоимость (AC), и средне-годовая стоимость производства одного литра дистиллированной воды (ACP).

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований солнечного дистиллятора с модификациями и без них в условиях города Екатеринбург, Россия. Экспериментальные данные были проверены путем сравнения их с результатами теоретической модели (для основной модификации), а также с исследованиями других авторов.

В разделе 1 главы 4 включены экспериментальные и теоретические результаты для первой модификации на основе применения вращающегося полого цилиндра и внешнего солнечного коллектора. На рисунках 6 (1, 2, 3, 4 и 5) показано изменение солнечного излучения, температуры окружающего воздуха и температуры в различных точках традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов за пять месяцев. Из рисунка видно, что данные температуры зависят от погодных условий, таких как солнечное излучение и температура окружающего воздуха.

Температуры облицовки емкости, воды в емкости и крышки из оргстекла модифицированного солнечного дистиллятора выше, чем в традиционном солнечном дистилляторе благодаря эффективному эффекту вращающегося полого цилиндра и предварительному нагреву воды солнечным коллектором. Самые высокие температуры были зафиксированы в июле, а самые низкие - в октябре.

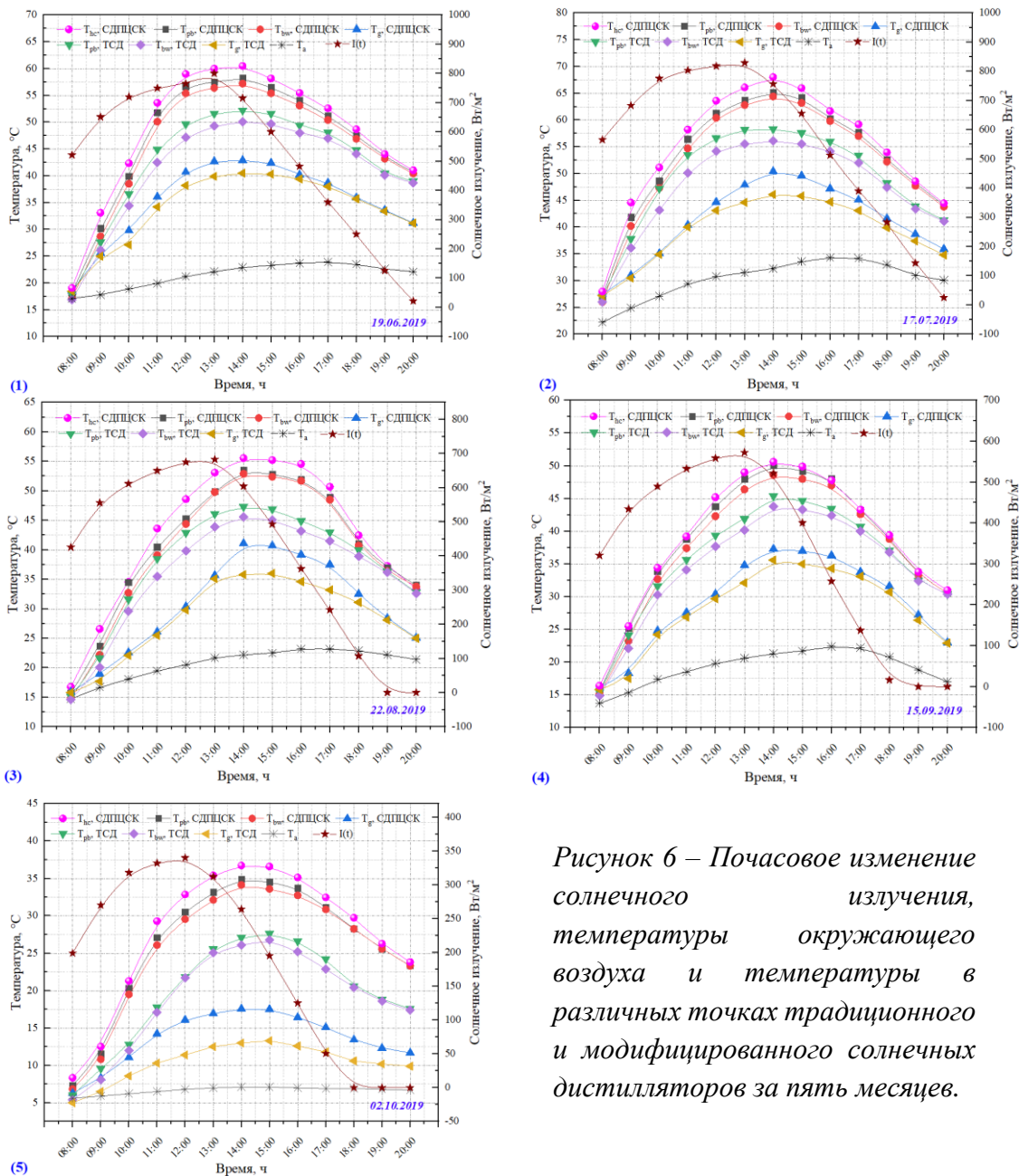


Рисунок 6 – Почасовое изменение солнечного излучения, температуры окружающей воздуха и температуры в различных точках традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов за пять месяцев.

На рисунке 7 показано, изменение суточной производительности дистиллированной воды и солнечного излучения в традиционном и модифицированном солнечных дистилляторах за пять месяцев (с июня по октябрь 2019 г.). Из этого рисунка видно, что совокупная производительность опреснения воды для обоих типов растет с увеличением солнечного излучения с июня по октябрь. Производительность опреснения воды модифицированного дистиллятора, была выше, чем у традиционного дистиллятора во все типичные дни. Самый высокий был в июле и составил 3,1 литра в традиционном дистилляторе в сравнении с 12,5 литра в

модифицированном дистилляторе, а самый низкий был в октябре, составлял 0,7 литра в традиционном дистилляторе в сравнении с 3,5 литра в модифицированном дистилляторе. На рисунке 8 показано, что средний коэффициент повышения производительности за пять месяцев колебался в пределах 280%-400%. Самые высокие значения были в более прохладные месяцы (сентябрь и октябрь), около 300% и 400%, из-за снижения температуры окружающего воздуха, следовательно, увеличения скорости конденсации водяного пара.

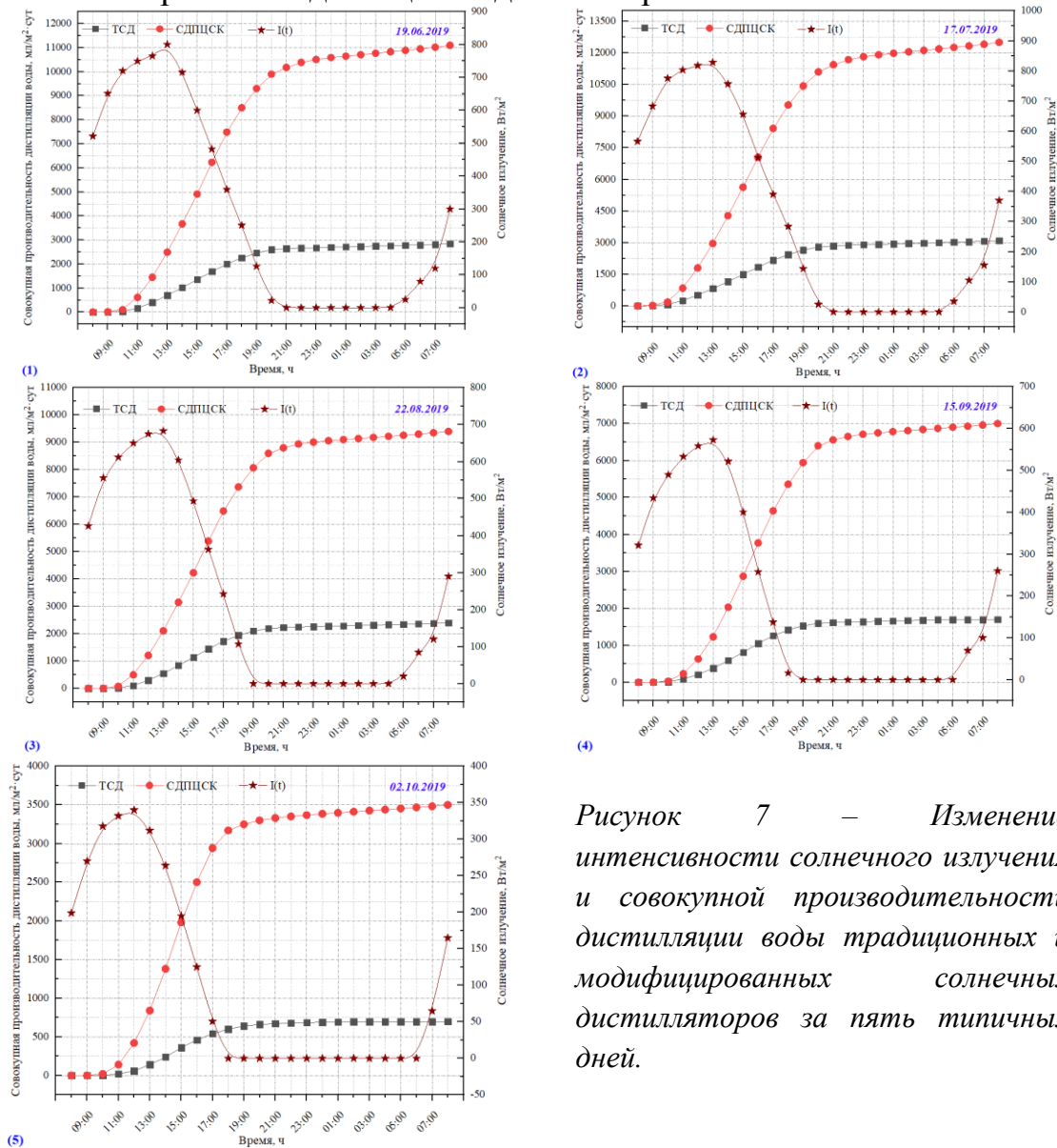


Рисунок 7 – Изменение интенсивности солнечного излучения и совокупной производительности дистилляции воды традиционных и модифицированных солнечных дистилляторов за пять типичных дней.

На рисунке 9 показана, термического КПД и интенсивности солнечного излучения. Из этого рисунка видно, что максимальный термический КПД был в октябре и самый низкий в июле 2019 г. Термический КПД традиционного солнечного дистиллятора для типичных дней 17 июля, и 2 октября 2019 г. составил около 52%, и 72%, соответственно, что ниже, чем термический КПД модифицированного солнечного дистиллятора, который составил около 72,58%, и 99,67%, соответственно. Работоспособность теоретической модели была подтверждена путем сравнения ее результатов с соответствующими экспериментальными данными. На рисунках (10 и 11) показано сравнение теоретических и экспериментальных температур в различных точках для традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов для

типичного дня 17 июля, и производительностей дистилляции воды для традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов за пять месяцев на протяжении 2019. Из этих рисунков видно, что результаты теоретической модели хорошо совпадали с экспериментальными данными.

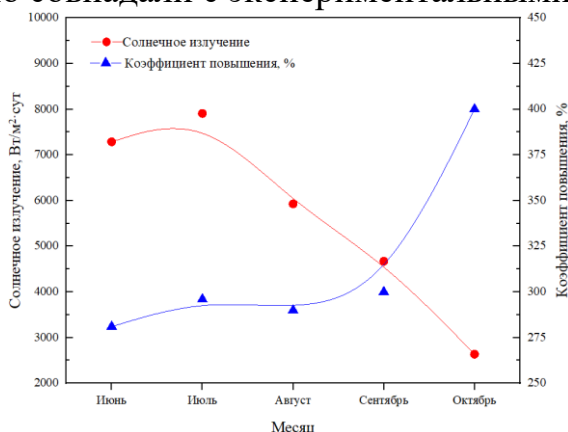


Рисунок 8 – Среднемесячная зависимость коэффициента повышения производительности дистиллированной воды.

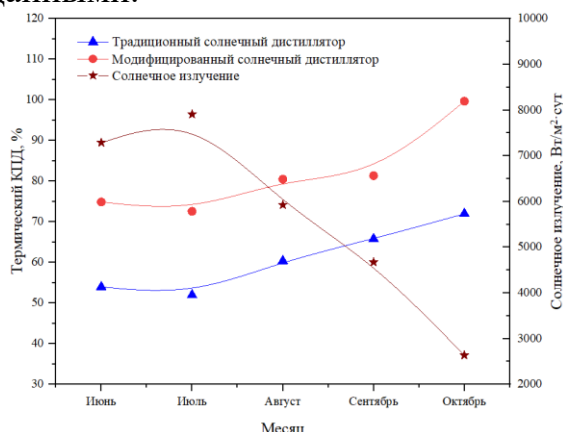


Рисунок 9 – Зависимость среднесуточного термического КПД и интенсивности солнечного излучения.

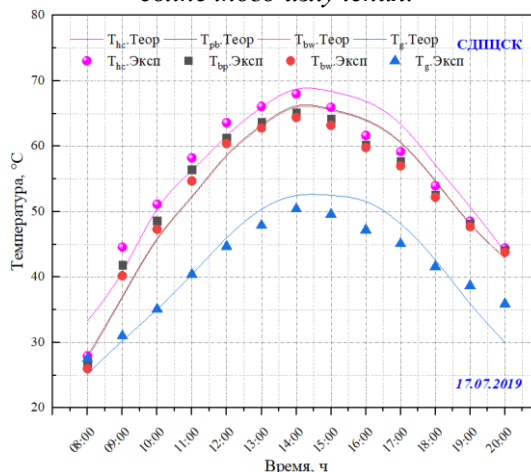
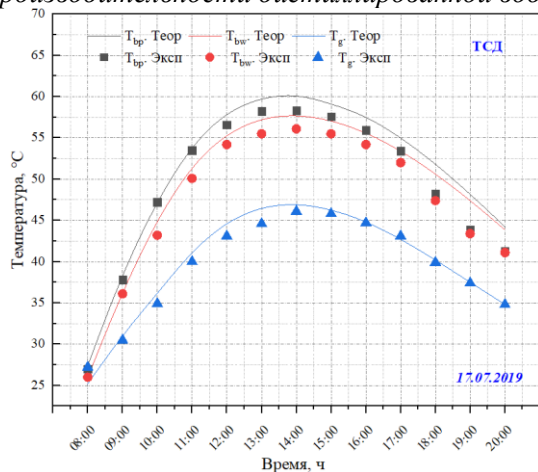


Рисунок 10 – Сравнение теоретической модели и экспериментальных результатов почасовых изменений температуры; 1- традиционный дистиллятор; 2- модифицированный дистиллятор, для лучшего типичного дня для лучшего типичного дня 17 июля 2019.

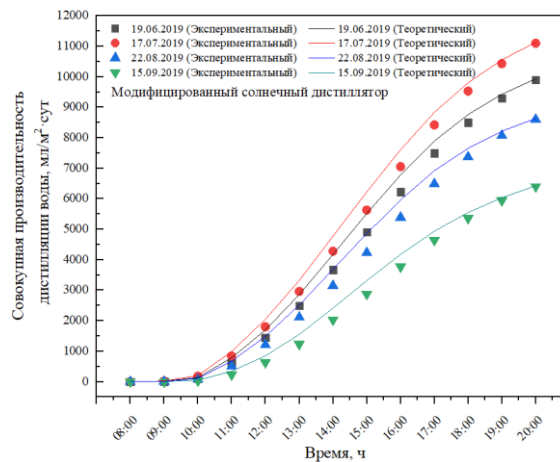
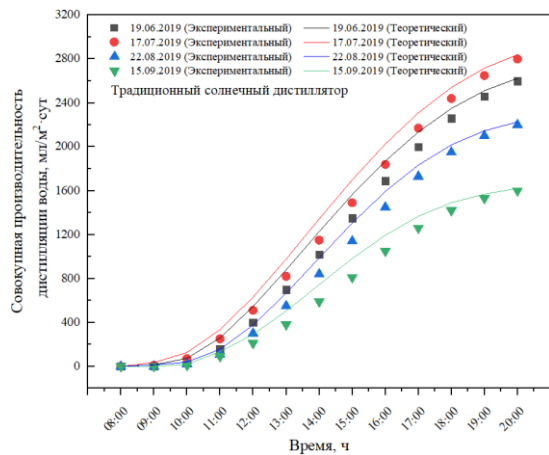


Рисунок 11 – Сравнение теоретической модели и экспериментальных результатов изменений количества совокупной производительности дистиллированной воды; 1- традиционный дистиллятор; 2- модифицированный дистиллятор, за четыре месяца.

Относительное расхождение составляет 3,9% для температур и 8,39% для производительности. Отклонение между экспериментальными результатами и теоретической моделью может быть связано с утечкой водяного пара из конструкции солнечного дистиллятора воды и потерями тепла в окружающий воздух при экспериментальном исследовании, в то время как теоретическая модель предполагала, что утечек и тепловых потерь нет.

В разделе 2 главы 4 для второй модификации 27 и 28 июля 2019 г. выбранных в качестве типичных дней. Рисунок 12 показано почасовое изменение температур в различных точках традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов.

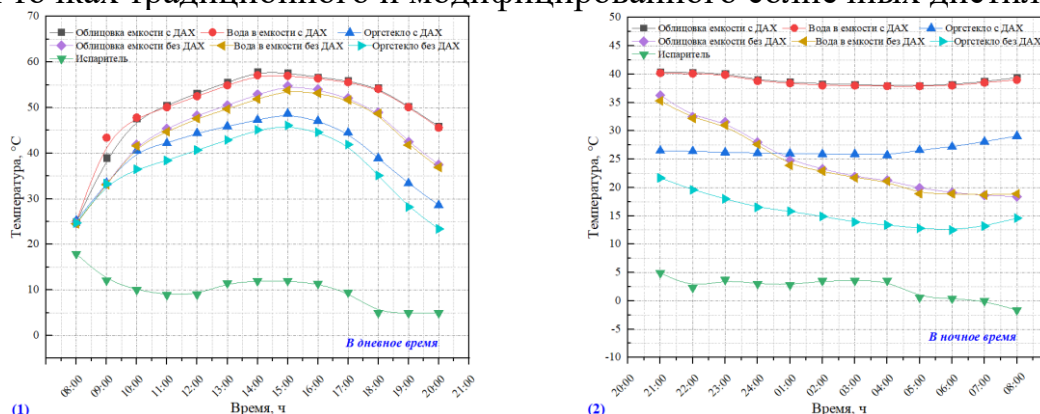


Рисунок 12 – Почасовое изменение температуры в различных точках традиционного и модифицированного солнечных дистилляторов, (1) в дневное время (2) в ночное время.

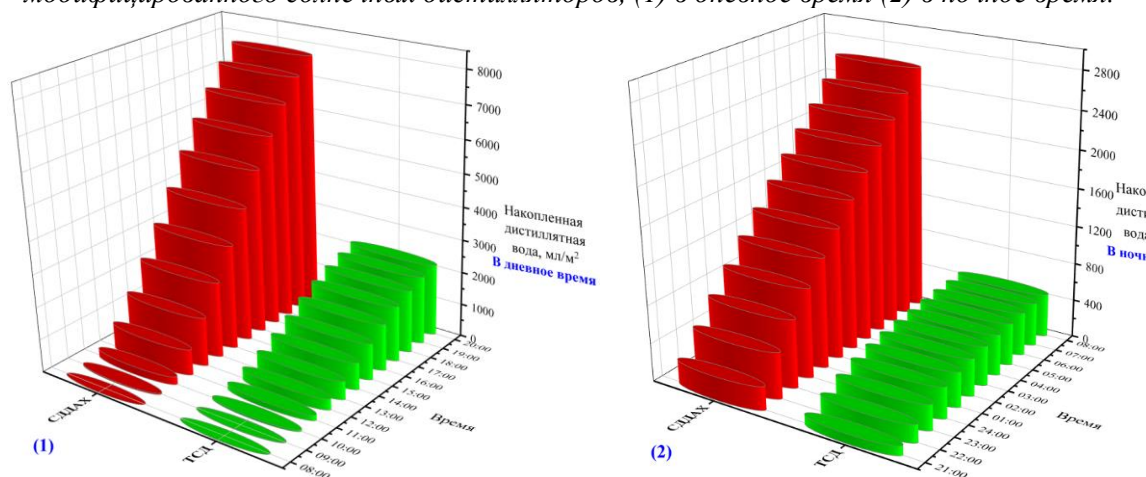


Рисунок 13 – Совокупная производительность дистилляции воды традиционного и модифицированного солнечного дистилляторов, (1) в дневное время (2) в ночное время.

Из данного рисунка можно заметить, что температура воды в емкости в модели ТСДДАХ была выше, чем у модели ТСД, на 0,5-8,3 °С в дневное время и на 4,9-20,1 °С в ночное время за счет эффекта раннего нагрева воды в емкости конденсатором холодильника. Также из этого рисунка также было замечено, что температура крышки из оргстекла в модели ТСДДАХ была выше, чем у модели ТСД, на 0,5-5,2 °С в дневное время и на 4,8-14,9 °С в ночное время из-за высокой интенсивности испарения в модели ТСДДАХ в результате постоянного нагрева воды в емкости. Рисунок 13 показана совокупная производительность дистилляции воды в модифицированном солнечном дистилляторе (ТСДДАХ) и традиционном солнечном дистилляторе (ТСД) в течение 24 часов. Из этого рисунка видно, что совокупная производительность дистилляции воды в модифицированном солнечном

дистилляторе (ТСДДАХ) всегда была выше, чем у традиционного солнечного дистиллятора (ТСД). Совокупная производительность дистилляции воды из ТСДДАХ и ТСД в дневное время (с 8:00 до 20:00) составила около 7740 мл/м² и 2200 мл/м² соответственно, таким образом, улучшив ее примерно на 251%, в то время как в течение ночного времени (с 20:00 до 8:00) она составила 2620 мл/м² и 460 мл/м² соответственно, улучшив ее на 469%.

В разделе 3 главы 4 для третьей модификации, 24 июля 2020 г. выбран в качестве типичного дня. Рисунок 14 показано изменение температуры воды в емкости (T_w), температуры крышки из оргстекла (T_g), и температуры хлопчатобумажной ткани ($T_{\text{ткань}}$) двух типов солнечных дистилляторов (традиционного солнечного дистиллятора (ТСД) и модифицированного солнечного дистиллятора (СДУУ)). Из этого рисунка было замечено, что разница температур между поверхностью хлопчатобумажной ткани и крышки из оргстекла в предлагаемом солнечном дистилляторе намного выше, чем между водой в емкости и крышкой из оргстекла в традиционном солнечном дистилляторе, из-за непрерывное смачивание хлопчатобумажной ткани с помощью ультразвуковых увлажнителей, что привело к усилению процесса испарения воды по сравнению с глубиной воды бассейна традиционного дистиллятора (ТСД). Хлопчатобумажной ткани также уменьшала расстояние между поверхностью испарения и поверхностью крышки из оргстекла.

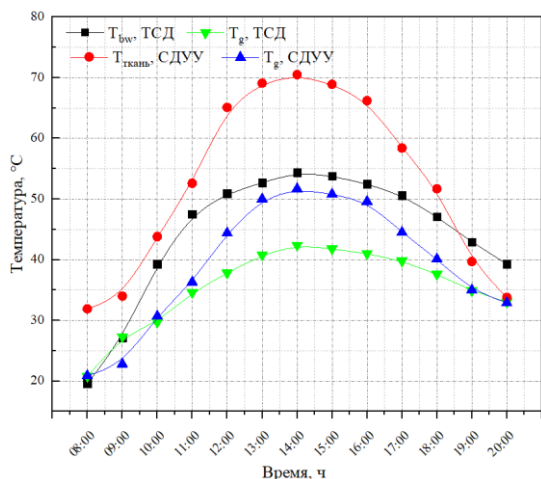


Рисунок 14 – Изменение температуры ткани, воды в емкости и крышки из оргстекла для типичного дня 24 июля 2020 г.

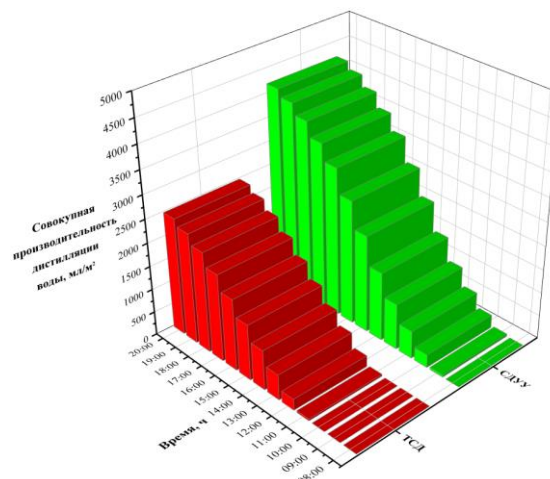


Рисунок 15 – Совокупная производительность дистилляции воды СДУУ и ТСД для типичного дня 24 июля 2020 г.

Рисунок 15 показана совокупная производительность дистилляции воды за 12 часов двух солнечных дистилляторов (ТСД и СДУУ). Исходя из этого рисунка, совокупная производительность дистилляции воды составила 4200 мл/м² для модифицированного солнечного дистиллятора и 2500 мл/м² для традиционного дистиллятора. Это свидетельствует об эффективности использования технологии, предлагаемой в текущей работе, для повышения продуктивности опреснения воды.

В разделе 4 главы 4 для четвертого модификации, 29 июля 2020 г. выбран в качестве типичного. Рисунок 16 показано почасовое изменение температуры абсорбирующей пластины (T_{A-p}); температуры воды на входе и выходе (T_{wi} and T_{wo}), температуры стеклянной крышки (T_g), температуры алюминиевой пластины (T_{Al-p}) и

температуры окружающего воздуха (T_a) для предлагаемого солнечного дистиллятора. На данном рисунке можно видеть, что температуры в разных точках солнечного дистиллятора продолжали расти вместе с увеличением интенсивности солнечного излучения, поэтому самые высокие температуры были зарегистрированы в 13:00 и были равны 58,1 °С для абсорбирующей пластины, 54,8 °С для воды на входе в солнечный дистиллятор, 57,37 °С для воды на выходе из солнечного дистиллятора и 50,24 °С для стеклянной крышки. Кроме того, из этого рисунка видно, что на температуру алюминиевой пластины напрямую влияют температура окружающего воздуха и скорость ветра. Самая высокая температура алюминиевой пластины была зарегистрирована в 15:00 и была равна 33,5 °С, когда температура окружающего воздуха достигла максимального значения в 30,5 °С. Рисунок 17 показана что совокупная производительность дистилляции воды алюминиевой пластины была выше по сравнению со стеклянной крышкой и составила 805 мл/м², стеклянной крышки – 555 мл/м², с увеличением на 45%. Это означает, что алюминиевая пластина оказывает значительное влияние на повышение производительности за счет естественного потока влажного воздуха (свободная конвекция) через алюминиевую пластину.

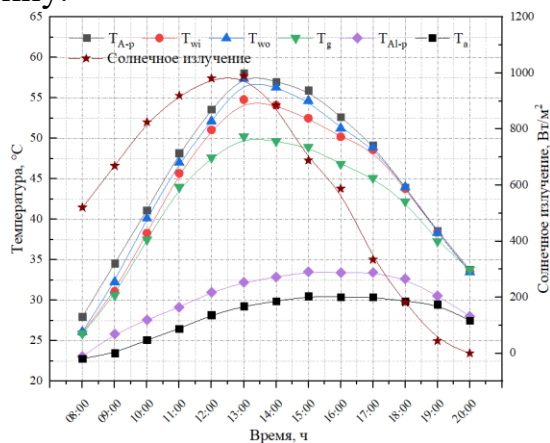


Рисунок 16 – Изменение температуры в абсорбирующей пластине; воды на входе и выходе, стеклянной крышки, алюминиевой пластины и окружающего воздуха за типичный день 29 июля 2020.

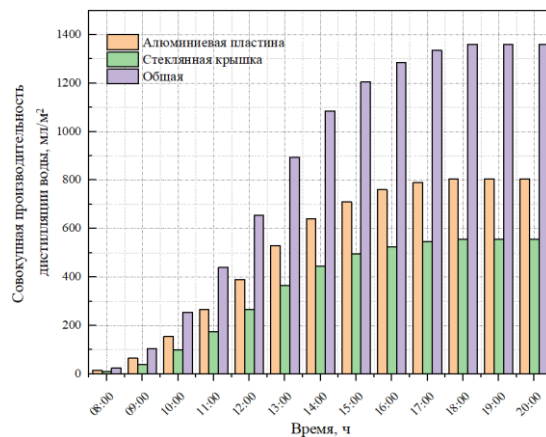


Рисунок 17 – Совокупная производительность опреснения воды на алюминиевой пластине и стеклянной крышке за типичный день 29 июля 2020.

В разделе 5 главы 4 для пятой модификации, 16 июня 2021 г. выбран в качестве типичного. Рисунок 18 показано почасовое изменение температуры абсорбирующей пластины; температуры воды на входе и выходе; температуры стеклянной крышки, температуры алюминиевой пластины, и температуры окружающего воздуха, для предлагаемого солнечного дистиллятора. На данном рисунке можно видеть, что температуры в разных точках солнечного дистиллятора продолжали расти вместе с увеличением интенсивности солнечного излучения, поэтому самые высокие температуры были зарегистрированы в 13:00 и равны 59,9 °С для абсорбирующей пластины, 57,7 °С для воды на входе в солнечный дистиллятор, 59,68 °С для воды на выходе из солнечного дистиллятора, и 54,98 °С для стеклянной крышки. Кроме того, из этого рисунка видно, что температура алюминиевой пластины была относительно низкой из-за охлаждающего эффекта термоэлектрических элементов. Самая высокая температура алюминиевой пластины была зафиксирована в 13:00 и составляла 40,1 °С при температуре окружающей среды около 32,16 °С. Рисунок 19 показана что

совокупная производительность дистилляции воды алюминиевой пластины была выше по сравнению со стеклянной крышкой и составила 1290 мл/м^2 , стеклянной крышки – 615 мл/м^2 , с увеличением на 110%.

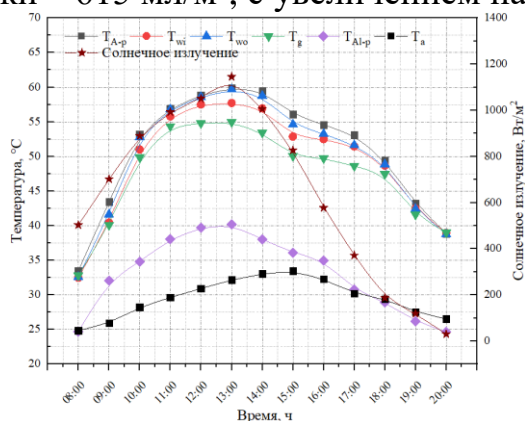


Рисунок 18 – Изменение температуры в абсорбирующей пластине; воды на входе и выходе, стеклянной крышки, алюминиевой пластины и окружающего воздуха в типичный день 16 июня 2021.

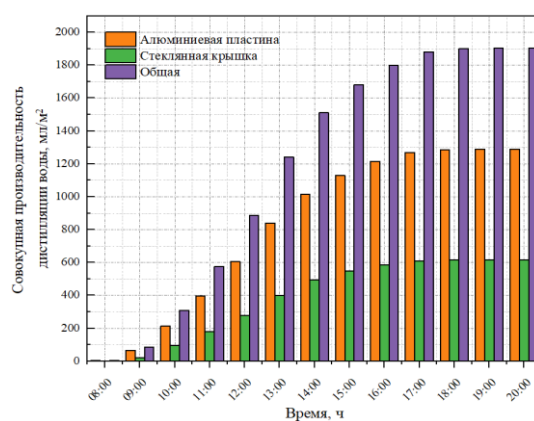


Рисунок 19 – Совокупная производительность опреснения воды на алюминиевой пластине и стеклянной крышке за типичный день 16 июня 2021.

Из-за высокой скорости испарения воды в результате постоянного смачивания поверхности абсорбирующей пластины хлопчатобумажной тканью в дополнение к низкой температуре алюминиевой пластины за счет охлаждающего эффекта термоэлектрических элементов.

Раздел 6 главы 4 включает сравнение результатов данной диссертационной работы с предыдущими исследованиями. Данное диссертационное исследование включает в себя разработку солнечной дистилляционной установки с использованием различных методов, и конструкций, как показано на рисунке 20. Из данного рисунка видно, что самая высокая производительность была зафиксирована у дистиллятора с полым цилиндром и внешним солнечном коллектором воды (СДПЦСК), суточная производительность которого составляла около $12,5 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$, при производительности традиционного солнечного дистиллятора примерно $3,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$, а значит производительность была улучшена на 300% при тех же эксплуатационных условиях. В рамках второй модификации производительность достигла $10,36 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$ в модифицированном солнечном дистилляторе при $2,66 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$ в традиционном солнечном дистилляторе с улучшением на 289% при тех же эксплуатационных условиях. В третьей модификации она достигла $4,2 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$ в модифицированном солнечном дистилляторе при $2,5 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$ в традиционном солнечном дистилляторе с улучшением на 68% при тех же эксплуатационных условиях. Производительность четвертая модификация составила $1,36 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$. И производительность пятая составила $1,905 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$. На Рисунке 21 показано изменение суточной совокупной производительности дистилляции воды для различных типов солнечных дистилляторов. Этот рисунок показывает, что модифицированный солнечный дистиллятор с солнечным коллектором воды (СДПЦСК) в рамках данной работы дает большую производительность в сравнении с результатами Аюб [20] и других. Это связано с эффективным влиянием солнечного коллектора воды в предлагаемой конструкции для предварительного нагрева воды,

подаваемой в воду емкости в модифицированном солнечном дистилляторе. Погодные условия в Екатеринбурге (относительно высокая интенсивность солнечного излучения и низкая температура окружающего воздуха) также эффективно способствовали повышению производительности дистилляции воды в сравнении с Аюбом [20]. В сравнении предлагаемой конструкции с Купером [21], Ахмедом [22] и Шехатой [23] она дает лучший результат за счет увеличенной площади поверхности испарения и повышения температуры воды в емкости.

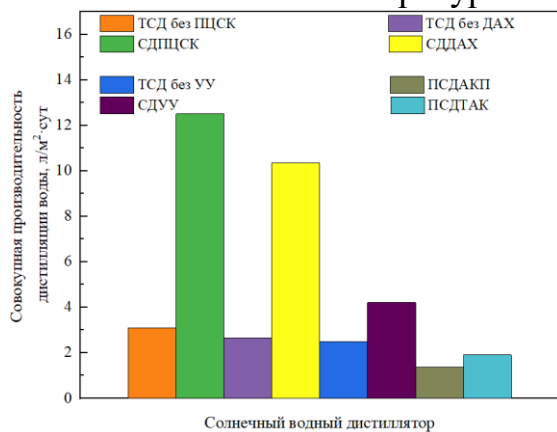


Рисунок 20 – Суточная совокупная производительность дистилляции воды для различных модифицированных и базовых солнечных дистилляторов, (2019-2021), Екатеринбург, Россия.

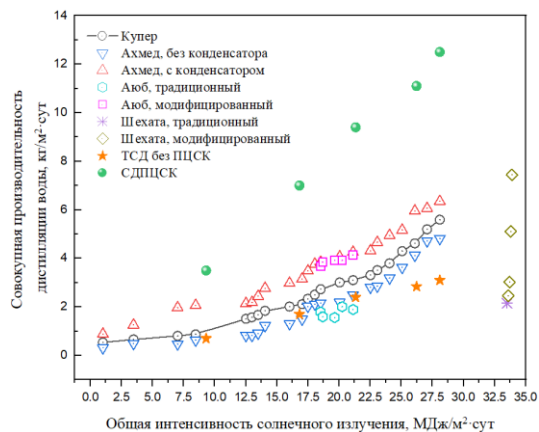


Рисунок 21 – Изменение суточной совокупной производительности дистилляции воды в различных модифицированных и базовых солнечных дистилляторах.

В главе 5 приведены результаты подробного экономического анализа основных факторов, влияющих на стоимость опреснения на литр воды. Также приведены результаты анализа физических и химических свойств пресной воды, полученной в солнечном дистилляторе, и проб технической и питьевой воды. Результаты показали, что стоимость производства одного литра дистиллированной воды в данных типах СДПЦСК, СДДАХ, СДУУ, ПСДАКП, и ПСДАК, составляет около 0,026 \$, 0,031 \$, 0,033 \$, 0,065 \$, и 0.057 \$ соответственно, при условии, что пять типов солнечных дистилляторов работают около 180 дней в году (среднее количество солнечных дней в году в Екатеринбурге, Россия). Было проведено сравнение стоимости производства с предыдущими исследованиями, приведенными на Рисунке 22. Видно, что стоимость производства литра дистиллированной воды в модифицированных солнечных дистилляторах в текущей работе сопоставима с полученной в предыдущих исследованиях. Кроме того, полученные результаты показывают, что наилучшая стоимость производства воды в солнечном дистилляторе при производительности 12,5 л/м² составляет около 0,026 \$ при использовании солнечного дистиллятора с вращающимся полым цилиндром и внешним солнечным коллектором воды. Все тесты (TDS, pH и электропроводность) для дистиллированной воды, полученной в

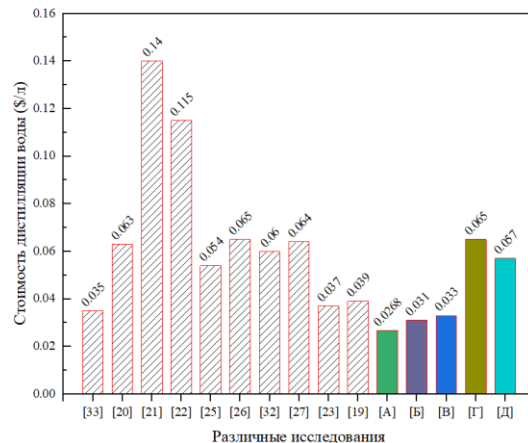


Рисунок 22 – Средняя стоимость дистиллированной воды в различных типах солнечных дистилляторов.

солнечных дистилляторах, показали наилучшие результаты, как показано на рисунке 23.

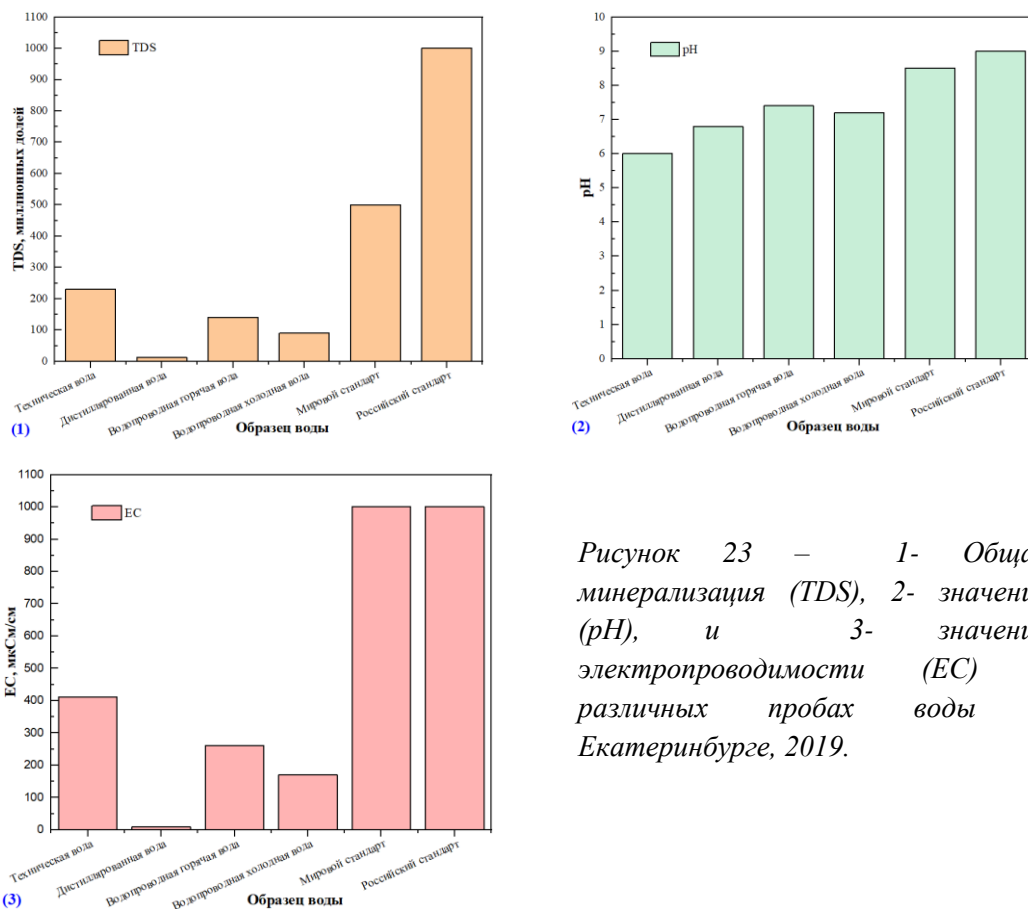


Рисунок 23 – 1- Общая минерализация (TDS), 2- значение (pH), и 3- значения электропроводимости (EC) в различных пробах воды в Екатеринбурге, 2019.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий результат данной диссертационной работы представляет собой научно обоснованные технические решения, которые улучшают суточную производительность солнечного дистиллятора за счет использования усовершенствованных методов испарения и конденсации. Для улучшения характеристик и производительности солнечного дистиллятора были применены пять различных методов посредством проектирования и конструирования пяти экспериментальных установок в дополнение к традиционному солнечному дистиллятору. Предлагаемые технические решения по обеспечению питьевой водой могут быть использованы в промышленных и бытовых целях, особенно в отдаленных и сельских районах, страдающих от нехватки воды. На основании экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в данной работе, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально и теоретически доказано, что комбинированные солнечные опреснительные установки с дополнительным нагревом воды в солнечном коллекторе и фотоэлектрическим энергоснабжением активных элементов системы (насос, барабан, термоэлектрические охладители) позволяют повысить производительность установок по пресной воде до 2-4 раз при минимальной стоимости одного литра воды.
2. Глубина воды в емкости 1 см дает наилучшую суточную производительность ($2700 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$) для традиционного солнечного дистиллятора, а для

- дистиллятора с полым цилиндром (модифицированный солнечный дистиллятор) более высокая суточная производительность реализуется при глубине воды в емкости 3 см и равняется $4500 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ с коэффициентом повышения 73% по сравнению с традиционным солнечным дистиллятором. При этом глубина воды в емкости 5 см для модифицированного солнечного дистиллятора с внешним солнечным коллектором воды (СДПЦСК) дает более высокую суточную производительность ($9450 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$) с коэффициентом повышения 285% по сравнению с традиционным солнечным дистиллятором при тех же глубине воды и эксплуатационных параметрах.
3. Уменьшение числа оборотов в минуту вращающегося полого цилиндра для модифицированного солнечного дистиллятора (дистиллятора с цилиндром) приводит к интенсификации процесса испарения и увеличению производительности дистилляции воды, которая составила примерно $4700 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ при 0,5 об/мин и $2800 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ при 6 об/мин. Кроме того, 0,5 об/мин была принята типичной скоростью вращения полого цилиндра для модифицированного дистиллятора с внешним солнечным коллектором воды (СДПЦСК), а суточная производительность была равна примерно $9900 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ при 0,5 об/мин и $7200 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ при 6 об/мин.
 4. Коэффициент повышения производительности модифицированного солнечного дистиллятора (СДПЦСК) в сравнении с традиционным солнечным дистиллятором составил не менее 280% в относительно жаркие месяцы (июнь, июль и август) и не менее 300% и 400% в более прохладные месяцы (сентябрь и октябрь), при этом совокупная производительность дистилляции воды летом достигала $12500 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$, а зимой $3500 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$.
 5. Все тесты (TDS, pH и электропроводность) для дистиллированной воды, полученной в солнечных дистилляторах, показали наилучшие результаты.
 6. Максимальный термический КПД традиционного солнечного дистиллятора (ТСД) составлял около 52% 17 июля и 72% 2 октября 2019 года, что ниже, чем термический КПД модифицированного солнечного дистиллятора (СДПЦСК), составлявший около 72% и 99%, соответственно.
 7. Численный анализ с использованием FORTRAN 90 может быть использован для изучения возникающих сложных явлений без использования дорогих прототипов и сложных экспериментальных испытаний, а получаемые данные сопоставимы с результатами реальных солнечных дистилляторов.
 8. Совокупная производительность дистилляции воды солнечного дистиллятора с фотоэлектрическим диффузионным абсорбционным холодильником (СДДАХ) всегда была выше, чем у традиционного солнечного дистиллятора (ТСД). В дневное время (с 8:00 до 20:00) коэффициент повышения составил около 251%, а в ночное время (с 20:00 до 8:00) - около 469%.
 9. Суточная производительность солнечный дистиллятор с ультразвуковым увлажнителем (СДУУ), составила $4200 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ с коэффициентом повышения на 68% по сравнению с ТСД, в котором равнялась около $2500 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$.

10. Плененный солнечный дистиллятор с алюминиевой конденсационной пластиной (ПСДАКП), считается инновационной попыткой опреснения воды с простой конструкцией и низкой стоимостью для отдаленных и сельских районов путем преобразования соленой воды в питьевую воду (в районах, где соленая вода является доступной) или извлечения влаги из влажного воздуха (для помещений с относительно высокой влажностью). Совокупная производительность опреснения на алюминиевой пластине была выше по сравнению со стеклянной крышкой, составляя $805 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ и $555 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$ соответственно.
11. В эту систему было внесено усовершенствование за счет покрытия абсорбирующей пластины черной сетчатой хлопковой тканью и установки электротермических охлаждающих элементов на поверхности алюминиевой пластины (ПСДТАК). Хлопковая ткань сохраняла поверхность абсорбирующей пластины влажной, а не сухой (интенсифицируя испарение), в то время как электротермические охлаждающие элементы снижали температуру алюминиевой пластины (интенсифицируя конденсацию пара). Это улучшение привело к увеличению как производительности дистиллированной воды, так и термической эффективности солнечной системы дистилляции.
12. Самая высокая производительность, зарегистрированная во всех модификациях солнечного дистиллятора в данном исследовании, была зафиксирована в дистилляторе с полым цилиндром и внешним солнечным коллектором (СДПЦСК), а суточная производительность составила около $12500 \text{ мл/м}^2 \cdot \text{сут}$.
13. Анализ стоимости производства одного литра воды в пяти типах модифицированных солнечных дистилляторов в данной работе показал, что минимальная стоимость производства одного литра дистиллированной воды была зафиксирована при использовании дистиллятора с полым цилиндром и внешним солнечным коллектором воды (СДПЦСК) и равнялась $0,026 \$$, и $0,028 \$$ от традиционного солнечного дистиллятора (ТСД).

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях,
определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:*

1. **Alwan N.T.** Evaluation of distilled water quality and production costs from a modified solar still integrated with an outdoor solar water heater / **N.T. Alwan**, S.E. Shcheklein, O.M. Ali // Case Studies in Thermal Engineering. 2021. 27. 101216. 0,69 п.л / 0,46 п.л. (**WOS, Scopus**).
2. **Alwan N. T.**, Experimental study and economic cost analysis about enhancement productivity for a conventional solar still combined with humidifiers ultrasonic / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, & O. M. Ali // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2021. 1924318. 1-17. 1,062 п.л / 0,70 п.л. (**WOS, Scopus**).
3. Agyekum E. B. Effect of dual surface cooling of solar photovoltaic panel on the efficiency of the module: experimental investigation / E. B. Agyekum, S. Praveen Kumar, **N. T. Alwan**, V. I. Velkin, & S. E. Shcheklein // Heliyon. 2021. e07920. 0,562 п.л / 0,225 п.л. (**WOS, Scopus**).

4. Shcheklein S. E. Obtaining fresh water from natural and synthetic fuels in the energy sector/ S. E. Shcheklein, A. M. Dubinin & **N. T. Alwan** // Int. J. of Energy Prod. & Mgmt. 2021. Vol. 6, Iss. 2. Pp.193–201. 0,5 п.л / 0,166 п.л (**Scopus**).
5. **Alwan N. T.**, Investigation of the coefficient of heat transfer and daily cumulative production in a single-slope solar distiller at different water depths / **N. T. Alwan**, S. Shcheklein, O. Ali // Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff. 2021. Vol. 43. Iss. 21. Pp. 1–18. 1.125 п.л / 0.75 п.л. (**WOS, Scopus**).
6. **Alwan N. T.**, Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, , & O. M. Ali // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 42. Pp. 2076-2083. 0,5 п.л / 0,20 п.л. (**WOS, Scopus**).
7. Majeed Milia H. Electromechanical solar tracker system for a parabolic dish with CPU water heater / Milia H. Majeed, **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, and A. V. Matveev // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 42. Pp. 2346-2352, 0,437 п.л/0.218 п.л. (**WOS, Scopus**).
8. **Alwan N. T.**, Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector, / **N. T. Alwan**, S.E. Shcheklein, O.M. Ali // Case Studies in Thermal Engineering. 2020. Vol. 19. 100614. 0.56 п.л / 0.2 п.л. (**WOS, Scopus**).
9. **Alwan N. T.**, Productivity of enhanced solar still under various environmental conditions in Yekaterinburg city / Russia / **N. T. Alwan**, S.E. Shcheklein, O.M. Ali // IOP Conf. Ser. Materials Science and Engineering. 2020. V 297. 012052. 0.437 п.л / 0.29 п.л. (**Scopus**).
10. **Alwan N. T.**, Evaluation of the productivity for new design single slope solar still at different saltwater depth / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali // J. Phys. Conf. Ser. 2020. Vol. 1706, Iss. 1. 0,625 п.л / 0,416 п.л. (**Scopus**).
11. **Alwan, N. T.**, Experimental investigation of solar distillation system integrated with photoelectric diffusion-absorption refrigerator (DAR) / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali // AIP Conference Proceedings, 2020. Vol. 2290. P. 9. 0,562 п.л / 0,37 п.л. (**Scopus**).
12. **Alwan, N. T.**, Effect of Hollow Drum Rotational Speed Variation on the Productivity of Modified Solar Still According to Yekaterinburg City, Russia / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali // Appl. Sol. Energy (English Transl. Geliotekhnika). 2020. Vol. 56, Iss. 4. Pp. 276–283. 0,5 п.л / 0,333 п.л. (**Scopus**).
13. **Alwan, N. T.**, Experimental investigations of single-slope solar still integrated with a hollow rotating cylinder / **Alwan N. T.**, S.E. Shcheklein, O.M. Ali // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. V. 745. 012063. 0,562 п.л / 0,19 п.л. (**Scopus**).
14. **Alwan, N. T.**, Experimental Investigation of Modified Solar Still Productivity under Variable Climatic Conditions / **Alwan N. T.**, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali // Int. J. Des. Nat. Ecodynamics. 2020. Vol. 15, Is. 1/ Pp. 57–64/ 0,5 п.л / 0,333 п.л. (**Scopus**).
15. **Alkharbavi, A. N. T.** The energy efficient method to produce potable water using the rotary cylinder solar still / **A. N. T. Alkharbavi**, & S. E. Shcheklein // Международный научный журнал Альтернативная энергетика. 2020. № 25-27 (347-349). С.12-20. 0,5 п.л/ 0,33 п.л.
16. Щеклеин С.Е. Использование цифровых технологий в исследовании возобновляемых источников энергии / С.Е. Щеклеин, Ю.Е. Немихин, А. И. Попов, В. И. Велькин, С. А. Коржавин, **Н. Т. Алван** // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 25-27 (347-349). С. 165-183. 1,125 п. л / 0,225 п. л.

17. **Alwan N. T.**, The compressor-photoelectric technology to produce potable water from moisture air / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. №.28-30 (350-352). С. 39-46. 0,437 п. л / 0,29 п.л.
18. Щеклеин С. Е. Получение пресной воды при использовании природных и искусственных топлив в энергетике / С. Е. Щеклеин, А. М. Дубинин, **Н. Т. Алван** // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. №28-30 (350-352). С. 99-110. 0,687 п.л / 0,229 п.л.
19. Kumar S. P. Computational evaluation of thermophysical properties of mixed refrigerant and effect of pressure r-290 and r-600 a at different compositions for vcrs / S. P. Kumar, **N. T. Alwan**, V. I. Velkin, R. S. Dondapati // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. №28-30 (350-352). С. 24-31. 0,437 п. л / 0,109 п.л.
20. **Alwan, N. T.**, A practical study of a rectangular basin solar distillation with single slope using paraffin wax (PCM) cells / **N. T. Alwan**, S.E. Shcheklein, O.M. Ali // Int. J. Energy Convers. 2019. V. 7. Pp. 162–170. 1,125 п.л / 0,75 п.л. (**Scopus**).

ПУБЛИКАЦИИ В ДРУГИХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЯХ:

21. Щеклеин С. Е. Цифровые технологии при изучении студентами источников возобновляемой энергетики / С. Е. Щеклеин, Ю.Е. Немихин, А. И. Попов, В. И. Велькин, С. А. Коржавин, **Н. Т. Алван** / Первая Международная научная конференция по проблемам цифровизации: EDCRUNCH URAL — 2020 : материалы конференции (Екатеринбург, 29–30 сентября 2020 г.). Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2020. С. 406-418. 0,75 п.л / 0,125 п.л.
22. **Алван Н. Т.**, Компрессорно-фотоэлектрическая технология получения воды из воздуха / **Н. Т. Алван**, С. Е. Щеклеин // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – (Екатеринбург, 09–13 декабря 2019 г.). Екатеринбург : УрФУ. 2019. С. 11-15. 0,25 п.л / 0,15 п.л.
23. **Alwan N.T.**, Investigation of the influence the design and operational factors on the productivity of the single slope solar still / **N.T. Alwan**, S.E. Shcheklein // Труды четвертой научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина». 2019. С. 131-134. 0,25 п.л / 0,15 п.л.
24. **Alwan N.T.**, Practical water production from humidity air / **N.T. Alwan**, M. M. Израилов, S.E. Shcheklein // Труды четвертой научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина». 2019. С. 138-140. 1,188 п.л / 0,125 п.л.
25. **Alwan N. T.** Evaluation of the productivity for new design single slope solar still at different saltwater depth / **N. T. Alwan**, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali // Всероссийская конференция «Сибирский теплофизический семинар, посвящённый 75-летию Заслуженного деятеля науки РФ Терехова Виктора Ивановича». 2019. С. 194. 0,125 п.л / 0,0601 п.л.