



УТВЕРЖДАЮ

Проктор УрФУ по науке  
Германенко А.В.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Альмохаммеда Омара Абдулхади Мустафы «Разработка энергосберегающей технологии вакуумной дистилляции воды с применением теплового насоса и солнечного коллектора», представленной на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Спрос на пресную воду постоянно растет, особенно в странах Ближнего Востока. По данным Организации Объединенных Наций, к 2025 году почти 1,8 миллиарда человек во всем мире будут испытывать острый дефицит пресной воды. Для решения этой проблемы, может быть использовано опреснение морской воды. В настоящее время многие регионы мира, такие как страны Ближнего Востока, арабские страны, некоторые азиатские страны, Австралия и Африки, занимаются опреснением воды для удовлетворения своих потребностей в пресной воде. Существуют различные методы опреснения, такие как многостадийная флэш-обработка, многоэтапная дистилляция, обратный осмос и электродиализ. Многие системы опреснения воды используют в качестве источника энергии ископаемое топливо. Современные исследования в области опреснения воды направлены на разработку более эффективных систем опреснения воды, использующих возобновляемые источники энергии. Одним из перспективных, но в тоже время малоизученных направлений, является создание теплонасосных установок опреснения воды, позволяющих сократить использование традиционных топливно-энергетических ресурсов и уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу.

В связи с изложенным выше весьма актуальной является задача разработки новых энергоэффективных мобильных теплонасосных систем для дистилляции воды с использованием солнечных коллекторов и

математического описания протекающих в них процессов тепло- и массопереноса.

### **Структура работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Основная часть диссертационной работы состоит из 182 страниц, 83 рисунков и 5 таблиц.

Библиографический список включает 154 позиций.

### **Анализ содержания работы**

**Во введении** обоснована актуальность исследования, цели, методы исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

**Первая глава** включает обзор литературы по темам, связанным с очисткой и дистилляцией воды. Освещается международная проблема нехватки питьевой воды, а также воды, необходимой для сельскохозяйственных целей. Также в этой главе рассмотрены методы очистки воды путем химической или физической обработки. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки. Дистилляция воды – один из наиболее дорогостоящих методов очистки воды, но получаемая при этом вода имеет очень высокий уровень чистоты, который недоступен при очистке другими методами. Заключительная часть первой главы посвящена выводам по обозреваемым исследованиям и методам очистки воды.

**Во второй главе** диссертации представлены схема, описание и математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса в разрабатываемой системе дистилляции воды с использованием теплового насоса. Система дистилляции, разрабатываемая в диссертации включает в себя тепловой насос и солнечный коллектор в качестве источника тепловой энергии. В разрабатываемой установке дистилляции используются как горячая, так и холодная сторона теплового насоса, что позволяет существенно повысить энергоэффективность системы дистилляции и обеспечивает экономию энергетических ресурсов.

**В третьей главе** рассматривается методика расчета разрабатываемой системы дистилляции воды. Расчет процессов тепло- и массопереноса начинается с конденсатора теплового насоса. Испаритель теплового насоса охлаждает водяной пар, что позволяет снизить потребление энергии в вакуумном насосе за счет увеличения плотности водяного пара, и значительно снизить температуру воды после вакуумного насоса.

**Четвертая глава** посвящена результатам теоретических и практических исследований процессов тепло- и массопереноса. Исследования процесса дистилляции воды с применением теплового насоса и солнечного коллектора производилось на лабораторном стенде. Результаты проведенных исследований представлены в виде графических зависимостей влияния отношений давления  $P_c/P_e$  на основные параметры работы дистилляционной системы.

### **Научная новизна**

Работа содержит научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на снижение энергетических затрат на единицу продукции при производстве опресненной воды:

1. предложены и обоснованы зависимости влияния отношения давления фреона в конденсаторе и в испарителе теплового насоса на массовый расход дистиллируемой воды и величину затрат энергии на дистилляцию.

2. определен интервал отношения давления фреона в конденсаторе к давлению фреона в испарителе теплового насоса ( $2 \div 6$ ). При таком давлении в теплонасосной дистилляционной системе эффективен подвод теплоты от внешнего источника энергии в виде солнечного теплового коллектора.

3. получены зависимости, описывающие влияние дополнительного подвода тепла от солнечного коллектора на коэффициенты преобразования как горячей, так и холодной стороны теплового насоса, влияющие на экономию энергетических ресурсов при дистилляции воды.

### **Практическая значимость работы**

1. Разработка нового, энергосберегающего способа вакуумного теплонасосного опреснения воды с применением внешнего подвода тепла от солнечного коллектора, способствующего экономии энергетических ресурсов.

2. Создание экспериментального стенда для физического моделирования процессов теплопереноса при вакуумной теплонасосной дистилляции воды, который является прототипом для создания промышленных установок опреснения воды с применением тепловых насосов.

3. Получение эмпирических данных для проведения расчетных работ при проектировании установок для опреснения воды методом вакуумной теплонасосной дистилляции.

4. Определение рациональных режимных параметров работы дистилляционной системы, позволяющих достигнуть максимального энергосбережения в процессах опреснения воды.

5. Усовершенствование конструкции конденсатора и испарителя теплового насоса за счет использования продольных ребер.

6. Новизна разработанных технических решений подтверждена патентами РФ на изобретение

№ 2723858 «Устройство для опреснения воды» от 30.06.2019 года ;

№ 2743154 «Градирия низкого давления для дистилляции воды» от 15.02.2021 года .

#### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных автором данных подтверждается: соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований процессов тепло- и массопереноса, выполненных с использованием сертифицированных измерительных приборов и апробированных методик измерения. Результаты исследований подвергнуты статистическому анализу и хорошо согласуются с известными экспериментальными и расчетными данными других авторов. Достоверность результатов обеспечена воспроизводимостью многократно повторенных экспериментов.

#### **Публикации**

По тематике исследования опубликовано 9 публикаций, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ; 2 патента; 3 статьи в журналах Scopus ,

1 статья в сборнике научной конференции и 1 статья в сборнике научного семинара.

#### **Вопросы и замечания по работе**

1. Почему выбран именно такой фреон для теплового насоса? Есть и другие, более подходящие, для этих систем фреоны.

2. Какие мотивы побуждают использовать относительное давление теплового насоса в качестве общего показателя оценки эффективности всей системы?
3. Какой источник энергии используется для поддержания работы системы на расчетном уровне, при недостаточном уровне солнечной инсоляции (облачность, ночь)?
4. Повысит ли эффективность системы использование тепла, отводимого с дистиллированной водой, при нагревании хладагента перед процессом сжатия?
5. Не все использованные в работе единицы измерений представлены в единицах системы СИ.
6. Влияет ли нагрев хладагента перед процессом сжатия на давление всасывания компрессора?

#### **Заключение**

Анализ диссертационной работы, автореферата и опубликованных работ показывает, что диссертация Альмохаммед Омар Абдулхади Мустафа «Разработка энергосберегающей технологии вакуумной дистилляции воды с применением теплового насоса и солнечного коллектора» соответствует паспорту специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика» по п. № 3 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и массопереноса в тепловых системах и установках, использующих тепло. Совершенствование методов расчета тепловых сетей и установок с целью улучшения их технико-экономических характеристик, экономии энергетических ресурсов» (частично), п. № 4 «Разработка новых конструкций теплопередающих и теплоиспользующих установок, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками» и п. № 5 «Оптимизация параметров тепловых технологических процессов и разработка оптимальных схем установок, использующих тепло, с целью экономии энергетических ресурсов и улучшения качества продукции в технологических процессах» паспорта специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика».

Представленная Альмохаммед Омар Абдулхади Мустафа диссертация является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований представлены научно обоснованные технические и технологические разработки по созданию

новых материалов, что соответствует п. 94 положения «О присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации по направлению 05.14.04 - «Промышленная теплоэнергетика».

Считаю, что диссертационная работа по объему, новизне и значимости удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Альмохаммед Омар Абдулхади Мустафа заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».

Диссертация обсуждалась на расширенном заседании кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника», протокол № 4 от 07 апреля 2022 года.

В голосовании приняло участие 15 человек. Из них «За» - 15 человек; «Против» - нет; «Воздержались» - нет.

Зав. кафедрой  
теплоэнергетики и  
теплотехники Уральского  
энергетического института  
(УралЭНИИ),

Мунц  
Владимир  
Александрович

05 мая 2022 года

д.т.н., профессор

Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина  
д 19, ул. Мира, г. Екатеринбург, 620002 Тел. +7(343)375-45-67  
e-mail: v.a.munts@urfu.ru

Сведения о лице, утвердившем отзыв ведущей организации  
Германенко Александр Викторович – Проректор по науке УрФУ, доктор  
физико-математических наук, доцент

Подпись В.А. Мунца заверяю:  
Ученый секретарь Ученого Совета УрФУ

В.А. Морозова  
05 мая 2022 года



д.т.н. АЛЬМАННУК УДМОВ  
ГОНЧАРОВА Н.В.