

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, старшего научного сотрудника Куколева Максима Игоревича на диссертацию Альмохаммеда Омара Абдулхади Мустафы «Разработка энергосберегающей технологии вакуумной дистилляции воды с применением теплового насоса и солнечного коллектора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика»

**1. Актуальность темы диссертационного исследования** обусловлена необходимостью решения проблемы снабжения городов и посёлков всех стран мира чистой пресной водой. Снижение дефицита пресной воды может достигаться различными методами. Однако, необходимо также помнить о снижении энергопотребления опреснительными установками для уменьшения как использования невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов, так и количества выбросов парниковых газов в атмосферу. Как справедливо отмечает автор, малоизученным перспективным способом опреснения воды является создание дистилляционных систем, работающих под вакуумом и использующих принцип теплонасосных установок.

Таким образом, актуальность диссертации, посвященной повышению энергоэффективности систем дистилляции воды за счёт использования принципа теплового насоса, испарения и конденсации воды под вакуумом и дополнительного подвода тепла от солнечного коллектора, 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 созданном прототипе системы дистилляции воды.

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

Совокупность новых научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации:

- 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.
- определён интервал отношения давления фреона в конденсаторе к давлению фреона в испарителе теплового насоса (2,25-6), при котором в теплонасосной

дистилляционной системе эффективен подвод тепла от внешнего источника энергии в виде солнечного теплового коллектора.

- 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.

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

- разработке нового, энергосберегающего способа вакуумного теплонасосного опреснения воды с применением внешнего подвода тепла от солнечного коллектора, способствующего экономии энергетических ресурсов;

- создании экспериментального стенда-прототипа для физического моделирования процессов теплопереноса при вакуумной теплонасосной дистилляции воды и получении с его помощью экспериментальных данных для применения в последующих проектных расчётах;

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

#### **5. Содержание диссертационной работы.**

Рассматриваемая работа содержит 182 с. машинописного текста, в т.ч. список литературы (154 источника) и 2 приложений. Материал диссертации размещен в четырёх главах и заключении.

Во **введении** обоснована актуальность диссертации; показана степень разработанности темы исследования; сформулированы цель и задачи работы; обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость представляемых материалов; сформулированы положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена обзору современных способов опреснения воды. Автор кратко рассматривает вопросы оценки количества питьевой воды в мире и базовые показатели целей в области устойчивого развития, обработки сырой воды (физической и химико-физической). Сделаны выводы и, в частности, отмечено: дистилляция, хоть и связана с потреблением энергии, может считаться наиболее подходящим методом для очистки, поскольку способна удалять около 99% примесей из воды. Этому методу, его улучшению за счет использования тепловых насосов для снижения потребления энергии, посвящены дальнейшие материалы диссертации.

Во **второй главе** проведён обзор известных, на настоящий момент, исследований по опреснению воды и кратко рассмотрен принцип действия теплового насоса. Отдельно выделены подразделы с описанием схемы разрабатываемой установки дистилляции воды, по тепловому балансу системы и математической модели процесса дистилляции воды под вакуумом. Выводы по главе показывают перспективность технологии с точки зрения снижения затрат энергии на осуществление процесса дистилляции.

**Третья глава** посвящена разработке методики расчета установок для вакуумной теплонасосной дистилляции воды. Здесь приводятся материалы по расчёту конденсатора, испарителя, компрессора теплового насоса. Оцениваются коэффициенты производительности теплового насоса в режимах нагрева и охлаждения, параметры водяного пара, потребляемая мощность вакуумного насоса и общее энергопотребление системы дистилляции воды. Далее определяются количество дистиллированной воды с использованием теплонасосной системы дистилляции, стоимость дистиллированной воды по энергетической индикации, потери тепла в системе, отношения давлений конденсатора и испарителя теплового насоса и рассчитывается солнечный коллектор.

Необходимость подраздела 3.14. (Расчёт цилиндрического сосуда под давлением) сомнительна, а Выводы по главе обладают излишней общностью.

В **четвертой главе** приводятся теоретические и экспериментальные результаты исследования. Предложена схема промышленной установки по дистилляции воды и разработана модель её термодинамической оптимизации. Проведено экономическое сравнение традиционных и усовершенствованной технологий дистилляции воды. Сделаны важные выводы о технических особенностях предлагаемой системы.

В **заключении** кратко подведены 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 дистилляции.

Работа апробирована в достаточной степени. Результаты исследования докладывались на международной и всероссийских научно-технической конференции и семинаре. Опубликовано 2 статьи в журналах из Перечня ВАК; 3 статьи в зарубежных изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus; 2 статьи в сборниках конференций.

Особенно благоприятное впечатление производит факт успешного патентования результатов исследования – получены 2 Патента РФ в 2020 г. и 2021 г.

### **7. Замечания:**

1. При описании предложенной схемы разработанной установки дистилляции воды (подраздел 2.1, стр. 45 дисс.) автор выделяет пять преимуществ способа. При этом, в п.5 говорится: «энергия, которая используется для работы установки, является электрической энергией, которая **доступна везде**». С этим трудно согласиться!

2. Видимо, уравнение 2.23 на стр. 51 записано для рис. 2.5 а не для 2.4;

3. Отсутствует расшифровка символа  $S(T_1)$  в уравнении 2.25 стр. 51. Это объёмный расход (стр. 62)?

4. В уравнении 2.23 слагаемые имеют размерность  $Dж$  ( $кДж$ ) а не  $Вт$  ( $кВт$ );
5. В уравнении 2.36 стр. 53 ошибочно применен символ  $\alpha$  вместо  $k$ ;
6. Разбиение и перенос таблицы 2.1 некорректны;
7. На стр. 58 в формуле 3.4  $k$  – общий коэффициент теплопередачи, а не теплоотдачи;
8. На стр. 73 и 74 указано, что «..Как показано в разделах 3.1.1 и 3.1.2, максимальный теоретический коэффициент производительности обратно пропорционален разности температур конденсации и испарения..». Но в подразделе 3.1.1 речь идёт об общем коэффициенте теплопередачи, а подраздел 3.1.2 отсутствует!
9. По непонятным причинам важный материал с описанием методики расчёта и приведением её наглядной блок схемы (стр. 77 и 78 дисс.) размещён в подразделе расчёта солнечного коллектора;
10. На стр. 80 автор говорит, что «..Как было указано в разделе 3.1.16 отношение давлений в конденсаторе и испарителе  $P_c/P_e$  влияет на теплопередачу..». Однако, подраздел 3.1.16 отсутствует!
11. Из каких соображений применяются уравнения 4.1 (стр. 81), 4.2 (стр. 82), 4.3 (стр. 84) и 4.4 (стр. 85), чьи это уравнения?
12. На стр. 84 автор говорит: «..Максимальный коэффициент производительности в режиме обогрева зависит от температур конденсатора и испарителя (как показано в разделе 3.1.4.1)..». Однако, подраздел 3.1.4.1 в работе отсутствует!
13. В диссертации сбита нумерация ссылок на использованные источники. Так, на стр. 127 ссылка на работу А. Бежана должна быть не 59, а 60; на стр. 128 ссылка не 89, а 90 и т.п.;
14. Из каких соображений применяются уравнения 4.90 и 4.91 (стр. 136); 4.90 и 4.91 (стр. 139). Чьи это уравнения и почему у них одна нумерация?

**Указанные замечания не снижают ценности проведенного исследования.**

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

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация «Разработка энергосберегающей технологии вакуумной дистилляции воды с применением теплового насоса и солнечного коллектора» является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные результаты теоретического и экспериментального исследования по повышению энергоэффективности систем дистилляции воды за счёт использования принципа теплового насоса, испарения и конденсации воды под

вакуумом и дополнительного подвода тепла от солнечного коллектора.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9 - 14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 11.09.2021) «О порядке присуждения ученых степеней». Её автор, Альмохаммед Омар Абдулхади Мустафа, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 - «Промышленная теплоэнергетика».

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

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

 Куколев Максим Игоревич

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 Альмохаммеда Омара Абдулхади Мустафы, и их дальнейшую обработку.

 /Куколев Максим Игоревич/ «12» апреля 2022 г.

