

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Костылева Ивана Ивановича на диссертационную работу Кошелева Сергея Валерьевича «Повышение энергоэффективности судовых холодильных машин путем выбора рациональных режимов кипения хладагента в испарителях», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»

Актуальность темы.

Понятие энергоэффективности предполагает рациональное использование ресурсов, достижение экономически оправданной эффективности энергозатрат при существующем уровне развития техники и технологии при соблюдении требований к охране окружающей среды. Применительно к холодильным установкам следует отметить, что они относятся к классу энергопреобразующих систем, т.е. систем термодинамических. Основным требованием к методикам энергетического анализа таких систем является базирование на принципах и законах термодинамики. В рассматриваемой работе достаточно объективно используется термодинамический анализ наряду с учетом обеспечения выполнения задачи экологической безопасности. Обе эти составляющие рассматриваются при условии перехода от озоноразрушающих хладагентов к холодильным агентам с низким потенциалом глобального потепления. При этом весьма существенным является проработка автором национальных нормативных актов и международных договоров, начиная с Венского соглашения 1985г. В соответствии с Монреальским протоколом переход на озонобезопасные холодильные агенты активно осуществляется и уже в 2020 году процесс должен быть завершен.

В этой связи термодинамические основы методических подходов автора к задачам исследования излагаются применительно к современным агентам.

Автором справедливо отмечается, что методики расчета коэффициента теплоотдачи (КТО) и падения давления в змеевиковых испарителях, представленные в отечественной литературе, распространяются лишь на несколько традиционных хладагентов (R22, R12, R717 и некоторые другие). Их нельзя использовать при переходе на новые хладагенты, так как они получены с использованием приближенных формул расчета среднего КТО и падения давления. Это затрудняет проектирование, подбор и анализ эксплуатации испарителей с внутритрубным кипением хладагента. В связи с этим возникла необходимость в разработке современных методов теплового и гидромеханического расчёта испарителей, которые базируются на обобщенных методиках определения локальных КТО и падений давления, учитывающих теплофизические и термодинамические свойства хладагента. Ранее тепловой и гидравлический расчеты проводились отдельно, а нередко падение давления хладагента не определялось, что могло приводить к снижению производительности компрессора и росту удельного энергопотребления.

При большом суммарном потреблении энергии многочисленными ХМ на судах подбор оптимальных сочетаний конструктивных и режимных параметров на стороне хладагента повышает энергоэффективность холодильных систем и способствует снижению загрязнения окружающей среды тепловыми и иными выбросами.

Таким образом, исследование и развитие методов определения параметров, характеризующих интенсивность теплоотдачи и понижение температуры насыщения в процессе кипения хладагентов в горизонтальных трубах и плоских змеевиках, является актуальной научной задачей, имеющей значение как для создания энергоэффективных и экологически чистых судовых ХМ, так и для выбора режимов их эксплуатации. Этим обосновывается формулировка цели исследования, предполагающей научное обоснование методов повышения энергоэффективности судовых холодильных машин за счет совершенствования процессов внутритрубного кипения хладагентов в испари-

телях. С учетом изложенного можно отметить актуальность выполненных исследований по данной теме.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждается соответствием результатов вычислительного эксперимента, корректным использованием математического аппарата, а также путем сравнения результатов расчетов соискателя с результатами опубликованных экспериментальных исследований. По составленным в диссертации алгоритмам выполнены многовариантные расчеты параметров кипения разных хладагентов. Путем регрессионного анализа результатов расчета получены степенные зависимости для использования в инженерной практике.

Автором выявлены наиболее перспективные методики расчета локальных КТО и градиентов давления. На основе современной теории гидродинамики и теплообмена двухфазных потоков произведена корректировка методик с целью их распространения не только на турбулентный, но и на переходный и ламинарный режимы течения. В процессе исследования была предложена расчетная схема деления плоских змеевиков с разным числом горизонтальных труб на короткие участки, позволяющая находить падение давления в калачах с использованием параметров хладагента на входе в каждый из них. Соискатель обосновал целесообразность применения численного метода определения оптимальных сочетаний конструктивных и режимных параметров змеевиковых испарителей. По результатам многовариантных расчетов и их сопоставления с эффективно работающими испарителями предложено не использовать сочетания исходных данных, в которых понижение температуры насыщения хладагента Δt_s и/или разность между температурой внутренней стенки труб и температурой насыщения хладагента на выходе из испарителя $t_T - t_{02}$ превышает 3°C .

Достоверность и новизна полученных результатов.

Достоверность полученных автором результатов подтверждается ана-

лизом известных работ в исследуемой области, учетом факторов, влияющих на решение задачи исследований, аргументированностью принятых допущений и ограничений, сопоставлением результатов расчета, проведенных автором, с расчетными и экспериментальными данными, опубликованными в авторитетных мировых журналах, а также апробацией результатов исследований автора на международных, российских и региональных конференциях.

Научной новизной обладает предложенный автором объединенный алгоритм теплового и гидравлического расчета параметров кипения хладагентов в горизонтальных трубах и плоских змеевиках, предусматривающий определение локальных КТО и градиентов давления, на основе которых по составленной программе находится средний КТО и полное падение давления хладагента. Разработанная методика численного подбора оптимальных сочетаний конструктивных и режимных параметров кипения хладагента позволяет находить экстремум искомой функции без упрощения исходных уравнений. Самостоятельное значение для научных исследований имеет созданная экспериментальная установка для проведения теплотехнических испытаний реверсивной ХМ.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке алгоритма для совместного расчета коэффициента теплоотдачи и падения давления при внутритрубном кипении разных хладагентов, а также в подготовке методик определения оптимальных значений массовой скорости хладагента $(w_p)_o$ или оптимальной длины зоны его кипения $l_{ко}$ в испарителях. Автором подобраны и обобщены в виде степенных зависимостей оптимальные значения $(w_p)_o$, а также $l_{ко}$ для семи хладагентов в широком диапазоне исходных данных.

Практическая значимость диссертационной работы:

а) составлены компьютерные программы для расчёта КТО и падения давления при кипении хладагентов в горизонтальных трубах и плоских змеевиках;

б) выведены уравнения для инженерного расчёта коэффициента теплоотдачи и падения давления семи хладагентов по конкретным исходным данным;

в) показано влияние падения давления хладагента на производительность компрессора, а значения КТО – на необратимые потери в испарителе, что в совокупности определяет эффективность ХМ;

г) создана экспериментальная установка и проведены теплотехнические испытания ВО с кипением хладагента R410A в трубах.

Значение полученных результатов исследования для практики также подтверждается внедрением разработанной программы для ЭВМ в учебный процесс ФГБОУ ВО КГТУ, а разработанные методики определения рабочих и оптимальных параметров при внутритрубном кипении хладагентов применялись инженерами-проектировщиками компании ООО «Рефимпэкс» при подборе испарителей холодильных машин, что подтверждается актами и справками о внедрении.

Основные выводы и предложения, изложенные в диссертации, представляют определенный интерес для широкого круга судовладельцев при разработке Плана управления энергетической эффективностью судов. Наличие таких Планов предусматривается требованиями Международной морской организацией (ИМО, Конвенция МАРПОЛ. Приложение VI).

Личный вклад автора состоит: в сборе, анализе и сопоставлении доступных экспериментальных данных о КТО и градиентах давления с полученными расчетными данными; реализации в виде компьютерных программ алгоритмов совместного расчета КТО и падения давления в горизонтальных трубах и плоских змеевиках; подборе оптимальных сочетаний конструктивных и режимных параметров при кипении семи хладагентов в змеевиках, а также получении степенные зависимостей с численными коэффициентами для практического определения оптимальной скорости или длины зоны кипения. Кроме того, соискателем выполнено проектирование, монтаж и налад-

ка экспериментальной установки, а также проведены эксперименты и обработаны полученные экспериментальные данные.

Соответствие автореферата диссертационной работе.

Автореферат объемом 1,3 усл.печ.л отражает основные положения диссертации и достаточно полно раскрывает ее содержание.

Полнота изложения основных результатов в публикациях.

Результаты диссертационного исследования докладывались на девяти научных конференциях, опубликованы в 24 печатных работах, 3 из которых в журналах, рекомендуемых ВАК РФ по специальности 05.08.05 и 5 статей по специальности 05.04.03. Кроме того, получено два свидетельства о регистрации программы для ЭВМ: «Расчет коэффициентов теплоотдачи по разным методикам при кипении хладагента в горизонтальных трубах», «Общая программа расчета коэффициента теплоотдачи и падения давления при кипении десяти хладагентов в плоских змеевиках с разным числом труб».

На основании перечисленного, можно утверждать, что основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в опубликованных соискателем работах.

Замечания и вопросы.

В процессе рассмотрения диссертационной работы возникли следующие замечания.

1. В названии диссертационной работы фигурирует словосочетание «рациональных режимов», что подразумевает под собой определение рациональных режимных и конструктивных параметров внутритрубного кипения хладагента, а в самой диссертационной работе чаще всего используется словосочетание «оптимальные параметры». Соискатель поясняет какой смысл он закладывает в определение «рациональные параметры» лишь на 106 странице диссертационной работы.

2. Было бы целесообразно кратко пояснить связь вопроса борьбы с озоноразрушающими веществами с кипением и процессом теплоотдачи в проводимых исследованиях.
3. Литературный обзор выполнен достаточно квалифицированно, что говорит о компетентности соискателя, но не дает должного ответа на степень изученности вопроса другими авторами.
4. На стр. 20 в ходе анализа зарубежной методики выбирается формула Dittus-Boelter (1.35). Это по сути формула Михеева для однородного течения с поправочным коэффициентом на степень сухости. По ней получается, что при $x=1$ КТО=0.
5. При оценке влияния на КТО соотношения длины труб и их диаметра автор указывает на проблему скачка. Однако в случае применения формулы Михеева для ламинарного и турбулентного режима переход получается плавным.
6. В ходе исследования для каждого хладагента получена своя программа расчетов. Возможно было бы проще сделать общую программу, в которую вводить разные физические свойства.
7. Вывод о невозможности распространить уравнения для определения КТО и падения давления (3.4), (3.5) на новые хладагенты не представляется очевидным. Может следовало бы поискать множитель A для новых хладагентов.
8. В работе используются разные языки программирования для основной программы и подпрограммы. Возможно имело бы смысл применить один язык, что сделало бы программу менее громоздкой.
9. Пункт 4.2 в значительной степени представляется как часть литературного обзора.
10. В диссертационной работе используются экспериментальные данные о коэффициентах теплоотдачи и градиентах давления при внутритрубном кипении хладагента лишь из иностранных источников, что требует обоснования.

11. В пятой главе автор диссертационной работы приводит собственные экспериментальные данные о коэффициенте **теплопередачи** и падении давления хладагента R410A, хотя в предыдущих главах расчеты и сопоставления проводились с коэффициентами **теплоотдачи**. Чем обоснован данный переход?

12. В пункте «Публикации» автореферата автор указывает 24 печатные работы, а в «Публикации, отражающие основное содержание и результаты исследования» перечислены 18 работ. Судя по всему, автор не раскрывает 6 статей с конференций аспирантов, докторантов и соискателей БГАРФ, отмеченных в пункте «Апробация и внедрение результатов исследования».

13. В пунктах «Научная новизна исследования» и «Теоретическая и практическая значимость» автор пишет о получении степенных зависимостей с численными коэффициентами для определения оптимальной массовой скорости или оптимальной длины зоны кипения, но в пункте «Задачи исследования» эти степенные зависимости не упоминаются.

Отмеченные вопросы и замечания в основе своей имеют дискуссионный характер и не ставят под сомнение полученные научные результаты, не умаляют ценность диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Кошелева Сергея Валерьевича на тему «Повышение энергоэффективности судовых холодильных машин путем выбора рациональных режимов кипения хладагента в испарителях», представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05 - «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)». Диссертация Кошелева С.В. является научно-квалификационной работой, содержащей решение задач, направленных на совместное определение показателей гидродинамики и теплообмена при кипении современных хладагентов в судовых змеевиковых испарителях. Решение этих задач имеет существенное значение для водного транспорта.

Изучение материалов диссертации, содержания автореферата, а также ознакомление с публикациями соискателя по тематике работы позволяет сделать следующие выводы.

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842, а также паспорту научной специальности 05.08.05- «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)», по пунктам 2.1 в части, относящейся к рабочим процессам во вспомогательных элементах СЭУ и 2.5 в части, касающейся повышения экономичности СЭУ и защиты окружающей среды за счет оптимизации параметров внутритрубного кипения хладагента и снижения его количества в испарителях. Представленную диссертацию можно квалифицировать как законченное, выполненное самостоятельно на хорошем научном и практическом уровне исследование, написанное грамотным литературным языком, а ее автор Кошелев Сергей Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05- «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)».

Официальный оппонент - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплотехника, судовые котлы и вспомогательные установки», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова». Россия 198035 Санкт-Петербург, ул. Двинская д.5/7, Рабочий тел. +7(812)321-36-81, e-mail: Kostylevii@gumrf.ru, специальность 05.08.05 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»

Костылев Иван Иванович

«09 » сентября 2019г.

Подпись *Костылев*
заверяю
Начальник отдела кадров
Подпись *И.И. Костылев*

