

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.02.2024 № 2/2024

О присуждении Швецову Дмитрию Анатольевичу, гражданину Российской Федерации,
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Интенсификация теплообмена при кипении в тонких горизонтальных слоях жидкости на капиллярно-пористых покрытиях» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 06.12.2023 (протокол заседания № 24-2/2023) диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Швецов Дмитрий Анатольевич, 20.09.1995 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории низкотемпературной теплофизики ИТ СО РАН. В 2019 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», в 2023 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории низкотемпературной теплофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – Павленко Александр Николаевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий

лабораторией низкотемпературной теплофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»;

Попов Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ» -

дали положительные отзывы на диссертацию Швецова Дмитрия Анатольевича.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ МЭИ), г. Москва в своем положительном заключении, подписанном Герасимовым Денисом Николаевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой Инженерной теплофизики НИУ МЭИ, Кузмой-Кичтой Юрием Альфредовичем, доктором технических наук, профессором кафедры Инженерной теплофизики НИУ МЭИ и Захаровой Оксаной Дмитриевной, кандидатом технических наук, доцентом кафедры Инженерной теплофизики НИУ МЭИ, указала, что «Полученные в диссертационной работе Д.А. Швецова результаты могут использоваться для проектирования микроструктурированных покрытий с целью повышения коэффициента теплоотдачи и критического теплового потока при кипении в тонких слоях жидкости. Полученные результаты могут применяться при создании термосифонов, тепловых труб и паровых камер различного назначения. Результаты диссертации целесообразно рекомендовать для использования в [ФГАОУ ВО] НИЯУ МИФИ, в компании РСК (г. Москва), Акционерном обществе «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Научно-исследовательский институт электронного специального технологического оборудования (НИИ ЭСТО, г. Зеленоград), ОАО «Завод Протон-МИЭТ» (г. Москва, г. Зеленоград), ФГБУН Институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»), ФГБУН Институт

проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЕ РАН), ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), ФГБУН Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИТФ УрО РАН), в профильных отраслевых НИИ и предприятиях электронной промышленности, атомной энергетики, в центрах по разработке оборудования для космической отрасли».

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 7 работ, общим объемом 60 страниц. В диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не содержится. Вклад автора состоял в подготовке и проведении всех представленных в работах экспериментов, анализе и интерпретации результатов, подготовке текста статей для публикаций.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Швецова Дмитрия Анатольевича:

1. Павленко А.Н., Жуков В.И., Швецов Д.А. Кризисные явления и интенсификация теплообмена при кипении и испарении в горизонтальных пленках жидкости // Теплоэнергетика. – 2022. – № 11. – С. 81–97.

2. Швецов Д.А., Павленко А.Н., Брестер А.Е., Жуков В.И. Инверсия кривой кипения на микроструктурированных пористых покрытиях // Теплофизика высоких температур. – 2023. – Т. 61, № 3. – С. 405–409.

3. Zhukov V.I., Pavlenko A.N., Shvetsov D.A. The effect of pressure on heat transfer at evaporation/boiling in horizontal liquid layers of various heights on a microstructured surface produced by 3D laser printing // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Vol. 163. – P. 120488.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что исследование является законченным и выполнено на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и способствуют пониманию механизмов теплообмена при кипении в тонких горизонтальных слоях жидкости на капиллярно-пористых покрытиях.

В отзыве на автореферат д.т.н. Зейгарника Ю.А., главного научного сотрудника Лаборатории теплообмена в энергетических установках ФГБУН "Объединенный институт высоких температур Российской академии наук" (ОИВТ РАН) и к.т.н. Васильева Н.В., старшего научного сотрудника Лаборатории теплообмена в энергетических установках ОИВТ РАН содержится два замечания: «1. Не указано, из каких соображений в качестве

исследуемой жидкости был выбран н-додекан. 2. В автореферате следовало бы более детально описать методику проведения эксперимента, в частности, каким путем осуществлялось измерение и поддержание заданной толщины и температуры слоя жидкости».

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Коляго Н.В., ведущего научного сотрудника лаборатории физико-химической гидродинамики ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси» содержится два замечания: «1. В диссертационной работе в качестве рабочей жидкости использован н-додекан. В автореферате не отражена причина такого выбора. Указано, что “полученные результаты могут применяться при создании термосифонов, тепловых труб и паровых камер различного назначения”, хотя в тепловых трубах и паровых камерах данная жидкость практически не используется. Остается открытым вопрос о применимости полученных экспериментальных результатов для других рабочих жидкостей, например, для воды. 2. В разделе 3.3 исследованы особенности теплообмена, связанные со временем эксплуатации образца. Однако далее нигде не фигурирует время, только появляется термин «приработанное покрытие». Не отражено, через какое время эксплуатации покрытие становится «приработанным», какие характеристики покрытия изменяются в процессе эксплуатации, какова причина особенностей теплообмена на «приработанном» и «неприработанном» покрытии».

В отзыве на автореферат чл.-корр. РАН, д.т.н. Покусаева Б.Г., профессора кафедры «Процессы и аппараты химических технологий им. Гельперина Н.И.» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» и д.ф.-м.н. Вязьмина А.В. – заведующего кафедрой «Процессы и аппараты химических технологий им. Гельперина Н.И.» ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет» содержится три замечания: «1. Было бы целесообразно прокомментировать возможные физические механизмы, определяющие значительную интенсификацию теплообмена при кипении в тонких слоях жидкости на капиллярно-пористом покрытии из нержавеющей стали с более низким коэффициентом теплопроводности. 2. На графиках экспериментальные точки соединены между собой. Зачем это сделано? Если физическое объяснение поведения линий тренда неизвестно и их провести невозможно, то лучше оставить экспериментальные точки по отдельности. 3. В автореферате не приведены литературные ссылки на тезисы докладов».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Стрижака П.А., профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией тепломассопереноса ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,

содержится три замечания: «1. На рисунках с экспериментальными данными целесообразно привести доверительные интервалы или СКО для понимания рассева результатов в серии измерений. 2. Практически во всех подписях на рисунках с экспериментальными данными указано «Зависимости ...». На многих из этих рисунков сложно выделить строгие зависимости, например, рис. 8, 9, 12. 3. Автором получены полезные экспериментальные данные. Их ценность бы возросла при обобщении в виде математических выражений, описывающих установленные зависимости и соотношения в безразмерных переменных».

В отзыве на автореферат от д.ф.-м.н. Виноградова В.Е., ведущего научного сотрудника Лаборатории быстропротекающих процессов и физики кипения ФГБУН Института теплофизики Уральского отделения Российской академии наук содержится одно замечание: «Экспериментальные исследования проводились с додеканом. В автореферате нет обоснования выбора исследуемой жидкости. Поэтому возникает вопрос, в какой мере выводы, полученные в диссертации, могут быть распространены на другие теплоносители?»

В отзыве на автореферат к.т.н. Левина А.А., доцента, ведущего научного сотрудника отдела тепловых систем ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук замечаний нет.

В отзыве на автореферат чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Коверды В.П., заведующего лабораторией фазовых переходов и неравновесных процессов ФГБУН Института теплофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИТФ УрО РАН) и д.ф.-м.н. Скокова В.И., профессора, главного научного сотрудника лаборатории фазовых переходов и неравновесных процессов ИТФ УрО РАН замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация является одним из лидеров в области исследования процессов тепломассопереноса, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.т.н. Ягов В.В., д.т.н. Кузма-Кичта Ю.А. и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. Кузнецов Г.В. и д.т.н. Попов И.А. являются признанными специалистами в области теплофизики, в частности, в вопросах интенсификации теплообмена при кипении, что подтверждается наличием у них публикаций ряда научных работ в данной области исследований, в том числе соответствующих тематике диссертационного исследования соискателя, и опубликованных в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований впервые установлено влияние геометрических характеристик и теплопроводности микроструктурированных капиллярно-пористых покрытий на теплообмен при испарении и кипении н-додекана в тонких горизонтальных слоях жидкости. Соискателем впервые определено влияния высоты слоя жидкости и давления на теплообмен при испарении и кипении на поверхностях с микроструктурированными капиллярно-пористыми покрытиями с различными геометрическими характеристиками и теплопроводностью. Экспериментально установлены закономерности теплообмена при интенсивном испарении жидкости на капиллярно-пористых покрытиях в условиях низких приведенных давлений ($P_s / P_{cr} \sim 10^{-5}$). Получены новые результаты по критическому тепловому потоку при кипении н-додекана на поверхностях с микроструктурированными капиллярно-пористыми покрытиями в широком диапазоне высоты слоя жидкости и давления. Впервые исследованы переходные режимы теплообмена от кипения в тонких слоях жидкости к кипению в большом объеме на микроструктурированных капиллярно-пористых покрытиях. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с известными расчетными зависимостями.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что в работе изучено влияние геометрических характеристик и теплопроводности капиллярно-пористых покрытий на теплообмен и критический тепловой поток при кипении н-додекана в тонком слое жидкости. Результаты анализа экспериментальных данных о влиянии высоты слоя жидкости и приведенного давления значительно дополнили представления о механизмах интенсификации теплообмена при кипении на капиллярно-пористых покрытиях. В работе изложены условия перехода теплообмена от кипения в тонких слоях жидкости к кипению в большом объеме.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученная в проведенных исследованиях экспериментальная информация может использоваться для проектирования микроструктурированных покрытий с целью повышения коэффициента теплоотдачи и критического теплового потока при кипении в тонких слоях жидкости. Экспериментальные данные могут применяться для прогнозирования наиболее приемлемых режимных параметров (давление, высота слоя жидкости, плотность теплового потока) с целью интенсификации теплообмена и повышения критического теплового потока на модулированных по толщине капиллярно-пористых покрытиях с различными геометрическими характеристиками и теплопроводностью. Полученные результаты могут применяться при

создании термосифонов, тепловых труб и паровых камер различного назначения. Результаты диссертации целесообразно рекомендовать для использования в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», ЗАО "РСК Технологии" (разработчик и интегратор «полного цикла» инновационных энергоэффективных, высокоплотных, масштабируемых устройств с жидкостным охлаждением для высокопроизводительных вычислений и систем для машинного/глубокого обучения, центров обработки данных, интеллектуальных систем хранения данных, г. Москва), АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», АО Научно-исследовательском институте электронного специального технологического оборудования (г. Зеленоград) и ОАО «Завод Протон-МИЭТ» (г. Москва, г. Зеленоград), ФГБУН Объединенном институте высоких температур Российской академии наук, ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБУН Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук, в профильных отраслевых НИИ и предприятиях электронной промышленности, атомной энергетики, в центрах по разработке оборудования для космической отрасли. Результаты проведенного исследования также целесообразно рекомендовать для студентов вузов и аспирантов в учебном процессе при подготовке специалистов соответствующего профиля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается применением сертифицированного и тарированного оборудования и средств измерения с соответствующим уровнем точности, оценкой неопределенностей измерений, использованием современных программных комплексов и компьютерных технологий и техники для обработки данных, сравнением с результатами для базовой гладкой поверхности, публикациями в рецензируемых научных журналах.

Личный вклад соискателя состоит в том, что соискатель лично участвовал в проектировании и сборке узлов экспериментального стенда и рабочих участков, отладке экспериментальных методик, подготовке и проведении всех представленных в диссертационной работе экспериментов. Совместно с к.т.н. В.И. Жуковым и инженером А.Е. Брестером автор проводил обработку и анализ опытных данных при подготовке

статей для публикации в рецензируемых журналах и докладов на конференциях. Постановка цели и задач исследования была сформулирована соискателем совместно с руководителем диссертационной работы чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. А.Н. Павленко и к.т.н. В.И. Жуковым.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Швецова Дмитрия Анатольевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача экспериментального исследования теплообмена и критического теплового потока при испарении и кипении на микроструктурированных капиллярно-пористых покрытиях в широких диапазонах изменения высоты горизонтального слоя жидкости и давления, имеющая существенное значение для развития научных основ теории кипения. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 21 февраля 2024 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Швецову Дмитрию Анатольевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по профилю специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

21 февраля 2024 года

Председатель
диссертационного совета
академик РАН

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор РАН



С.В. Алексеенко

В.В. Терехов