

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.053.01, 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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 17.04.2019 г. № 8 / 2019

О присуждении Печеркину Николаю Ивановичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Тепло – и массообмен при течении двухфазных потоков на поверхностях и в каналах сложной формы» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, принята к защите 18.12.2018 г. (протокол заседания № 16-2/2018) диссертационным советом Д 003.053.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказ о создании диссертационного совета № 105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Печеркин Николай Иванович, 1949 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Тепломассообмен и трение на стенке при вынужденном течении двухфазного потока в вертикальной трубе» защитил в 1987 году в диссертационном совете, созданном при Институте теплофизики Сибирского отделения Академии наук СССР, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Диссертация выполнена в Лаборатории низкотемпературной теплофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты: Зейгарник Юрий Альбертович, д.т.н., с.н.с., ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), Отдел проблем теплоэнергетики, главный научный сотрудник; Кузнецов Гений Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», НОЦ И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики, главный научный сотрудник; Попов Игорь Александрович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, КАИ» (КНИТУ-КАИ), кафедра Теплотехники и энергетического машиностроения, профессор, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Герасимовым Денисом Николаевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, кафедра Инженерной теплофизики, заведующий; Яговым Виктором Владимировичем, доктором технических наук, профессором, кафедра Инженерной теплофизики, профессор; Свиридовым Евгением Валентиновичем, кандидатом

технических наук, кафедра Инженерной теплофизики, доцент; Глазковым Василием Валентиновичем, кафедра Инженерной теплофизики, доцент, указала, что «Полученные в диссертационной работе Н.И. Печеркина результаты могут быть использованы при разработке конструкций новых тепломассообменных аппаратов с двухфазными потоками в системах циркуляции теплоносителя в энергетическом и химическом оборудовании, при проектировании, модернизации и эксплуатации установок для ожижения природного газа, дистилляционных установок, тепловых насосов и холодильных машин. Результаты по интенсификации теплообмена при пленочном течении маловязких жидкостей и их смесей на структурированных поверхностях могут быть использованы при разработке и внедрении в промышленное производство структурированных труб и поверхностей, предназначенных для интенсификации тепломассообмена в стекающих пленках. Комплексные исследования перепадов давления, распределения локальных расходов жидкости, состава смеси на структурированных насадках различной формы важны для проектирования современных разделительных колонн и для обоснованного выбора типов насадок и режимов работы отдельных секций колонн с учетом их реальных характеристик». Отмечено, что результаты диссертационной работы целесообразно использовать в проектных и научно-исследовательских организациях: в АО «ГНЦ РФ ФЭИ», ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГБУН ОИВТ РАН, ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», ФГБУН ИБРАЕ РАН, АО «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций» (АО «ЭНИЦ») концерна «Росатом»), ООО «Инженерно-внедренческом центре «Инжехим», ФГБОУ ВО «НИЯУ «МИФИ». Результаты проведенных исследований, в том числе обобщенные в монографии «Павленко А.Н., Печеркин Н.И., Володин О.А. «Теплообмен и кризисные явления в стекающих пленках жидкости при испарении и кипении» Изд-во СО РАН, г. Новосибирск 2016 г., также целесообразно рекомендовать для студентов вузов и аспирантов в учебном процессе при подготовке специалистов соответствующего профиля: «в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева КАИ» (КНИТУ-КАИ), ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ), ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ)».

Соискатель имеет 130 опубликованных работ. По теме диссертации опубликовано 44 работы: из них 24 публикации в изданиях из перечня ВАК общим объемом 245 стр., 1 патент, 1 монография (193 с.), 1 глава в книге (24 стр.). Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Вклад автора состоит в постановке задач, проведении экспериментов, обработке и анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций. Вклад соискателя в общем объеме публикаций составляет 163 стр. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Pavlenko A.N., Pecherkin N.I., Zhukov V.E., Nazarov A.D., Meski G., Houghton P. Separation efficiency of mixtures by distillation using structured noncircular packings // Chemical Engineering and Processing - Process Intensification. 2018. Vol. 133. P. 211-220.
2. Pecherkin N.I., Pavlenko A.N., Volodin O.A. Heat transfer and critical heat flux at evaporation and boiling in refrigerant mixture films falling down the tube with structured surfaces // Intern. Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 90(11). P. 149–158.

3. Pavlenko A., Zhukov V., Pecherkin N., Chekhovich V., Volodin O., Shilkin A. and Grossmann C. Investigation of flow parameters and efficiency of mixture separation on a structured packing // *AIChE Journal*. 2014. Vol. 60(2). P. 690–705.
4. Pecherkin N., Pavlenko A., Volodin O. Heat transfer and crisis phenomena at the film flows of freon mixture over vertical structured surfaces // *Heat Transfer Engineering*. 2016. Vol. 37(3–4). P. 257–268.
5. Pecherkin N.I., Chekhovich V.Yu. Mass transfer in a two-phase flow in a curvilinear channel // *Journal of Engineering Thermophysics*. 2008. Vol. 17(2). P. 113–119.
6. Павленко А.Н., Печеркин Н.И., Чехович В.Ю., Жуков В.Е., Сандер С., Хауптон П., Серов А.Ф., Назаров А.Д. Разделение смесей и распределение жидкости на структурированной насадке в крупномасштабной модели дистилляционной колонны // *Теоретические основы химической технологии*. 2006. Т. 40(4). С. 355–365.

На автореферат диссертации поступило 13 отзывов. Все отзывы положительные, содержат замечания. В отзывах отмечены новизна, научная и практическая значимость, достоверность полученных результатов, актуальность направлений исследований, наиболее значительные научные и практические результаты по выявлению закономерностей тепломассопереноса в каналах сложной формы.

В отзыве д.т.н., профессора Архарова Ивана Алексеевича, профессора кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения» МГТУ им. Н.Э. Баумана имеются замечания: «1. В главе по исследованию разделения смесей на структурированных насадках показано, что эффективность разделения и перепад давления определяются многими факторами, в частности характеристиками насадок, начальным распределением жидкости, режимными параметрами и т.д. В автореферате не приводится информация о том, как при выявлении влияния того или иного фактора на эффективность разделения изменялись остальные, не менее важные параметры?»;

2. На рис. 29 для ВЭТТ наблюдается характерная критическая область нагрузок по пару ( $K_v$  около 0,055), однако нет объяснения возможных причин ее появления».

В отзыве д.т.н. Хромовой Елены Михайловны, И.О. заведующего кафедрой «Охрана труда и окружающей среды» ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» и д.т.н., профессора этой же кафедры Шилиева Михаила Ивановича содержатся замечания: «1. Отсутствие расшифровки обозначений параметров и выражений для используемых критериев затрудняет понимание существа изучаемых экспериментальных явлений. В частности, по рис. 1, автором не объяснено, что он принимает за внешнюю, внутреннюю и среднюю образующие колена (с. 11). Ссылка на влияние центробежных сил (Тарасевич) не сопровождается разъяснением. На наш взгляд, эти эффекты надо было бы связать с влиянием выпуклости и вогнутости обтекаемых поверхностей на тепломассообмен (см. докт. дисс. Н.А. Дворникова), а также перераспределением жидкостной и паровой фазы в поле действия центробежных сил для двухфазного потока. 2. На с. 28 отмечено, что «определение оптимальной высоты секций колонн является актуальной технико-экономической задачей». При этом выяснено, что в ректификационных колоннах «увеличение высоты насадки приводит к значительному снижению общей эффективности разделения». В наших теоретических работах этот факт установлен и объяснен достижением на определенной высоте колонны равновесных термодинамических параметров, за пределами которой процесс тепломассообмена прекращается.

3. В 4-й главе диссертации изучались только противоточные схемы течения жидкости и пара. Однако нами теоретически установлено, что при одинаковой эффективности извлечения целевого компонента в насадочных колоннах как при противотоке, так и прямотоке на высоте установления равновесных термодинамических параметров перепады давления одинаковы, т.е. энергозатраты на массообмен одни и те же вследствие динамической безинерционности этого процесса. 4. На с. 33 отмечено, что в Приложении приведено описание используемых для оценок моделей расчета. Чьих моделей, не указано. Не указан и уровень достоверности этих моделей».

В отзыве д.т.н., профессора Сапожникова Сергея Захаровича, заведующего кафедрой «Теплофизика энергетических установок» ФГАОУ ВО СПбПУ, содержатся замечания: «1. Оценка точности измерений представлена только для раздела 1.4, автор пользуется устаревшим подходом, не соответствующим действующим стандартам: указывает погрешность вместо неопределенности. 2. Все пять выводов излишне многословны, в каждом из них трудно выделить главное».

В отзыве д.т.н., профессора Лаптева Анатолия Григорьевича, заведующего кафедрой «Технология воды и топлива» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», содержатся замечания: «1. В автореферате не представлена степень разработанности темы исследований другими авторами. 2. Необходимо пояснить, почему в эмпирическом выражении (2), число Шервуда зависит от числа Шмидта в степени  $1/4$ . Известно, что при пленочном течении эта зависимость близка к степени  $1/2$ ».

В отзыве д.т.н. Таирова Эмира Асгадовича, главного научного сотрудника Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН имеется замечание: «Не четко сформулированы предложения автора по непосредственному использованию полученных им новых результатов для совершенствования методов расчета и организации процессов разделения смесей в насадочных колоннах».

В отзыве д.т.н. Болтенко Эдуарда Алексеевича, Начальника отдела нестандартных теплотехнических измерений Управления НИР и НИОКР в области теплофизики АО «ЭНИЦ», замечаний не содержится.

В отзыве д.т.н., профессора Щеклеина Сергея Евгеньевича, заведующего кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», ФАГОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», и д.т.н. Пахалуева Валерия Максимовича, профессора кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» того же университета содержатся замечания: «1. В тексте отсутствует расшифровка ряда параметров, например модифицированная скорость жидкости и газа, стр. 14, параметр  $Nu^*/K^{0.4}$  на рис. 18 и 19, что затрудняет понимание полученных зависимостей. 2. В разделе «Заключение» было бы полезно указать более конкретные значения эффективности использования полученных данных».

В отзыве д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Коверды Владимира Петровича, заведующего лабораторией фазовых переходов и неравновесных процессов ФГБУН Института теплофизики УрО РАН и д.ф.-м.н., профессора Скокова Вячеслава Николаевича, ведущего научного сотрудника ФГБУН Института теплофизики УрО РАН, замечаний не содержится.

В отзыве д.т.н. Корниенко Юрия Николаевича, Главного специалиста Теплофизического отделения АО ОКБ «Гидропресс» содержатся замечания:

«1. Несколько снижает впечатление о высоком качестве работы отсутствие в конце каждой из глав автореферата заключений, суммирующих и обобщающих полученные данные; 2. Проводились ли автором аналитические оценки влияния параметров микроструктур обогреваемой поверхности и какие рекомендации получены; в частности, 3. Не представлена корреляция для поправки критической плотности теплового потока на рис. 22, линия III; 4. Не приведено объяснение заметного влияния подповерхностных полостей на величину критического теплового потока».

В отзыве д.т.н., профессора Васильева Л.Л., главного научного сотрудника ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова» НАН Беларуси, содержатся замечания: «1. На стр. 5 (п.3) – описка: дважды повторяется слово «различных». 2. Процесс теплообмена при течении пленки жидкости на теплонагруженных поверхностях с капиллярно-пористыми (сетчатыми) покрытиями (стр. 25 автореферата) включает как минимум две составляющих – теплоотдачу при кипении жидкости и при испарении тонких пленок в области менисков, причем интенсивность теплообмена при испарении может существенно превышать интенсивность теплообмена при пузырьковом кипении. К сожалению, в автореферате этой особенности процесса теплообмена не уделено должного внимания. 3. Ввиду ограниченности объема автореферата содержание диссертации сокращено таким образом, что отдельные выводы недостаточно увязаны с представленными материалами и носят несколько декларативный характер».

В отзыве заведующего кафедрой «Атомная и тепловая энергетика» ФГАОУ ВО Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого к.т.н., доцента Калютника Александра Антоновича и д.т.н., профессора той же кафедры Федоровича Евгения Даниловича содержатся следующие замечания: «1. Название диссертации представляется недостаточно конкретным (весьма общим) и в этом смысле недостаточно информативным. Оно скорее подходит для монографии, нежели для работы, представляющей хотя и обширную, но всё же ограниченную область задач. 2. Диссертант говорит о том, что тематически его работа относится к процессам, происходящим в энергооборудовании. Однако, известно, что в современной тепловой и атомной энергетике используется только одно рабочее тело – вода (водяной пар). Опыты, проведенные диссертантом, осуществлялись с использованием других веществ (криогенных сред). В связи с этим хотелось бы видеть в диссертации ответ на вопрос о том, в какой мере полученные в ней результаты могут быть перенесены (например, с помощью теории подобия) на энергооборудование с водяным теплоносителем и рабочим телом. 3. В диссертации представлен очень интересный и полезный материал по влиянию обработки поверхности нагрева на характеристики теплообмена, причем этот материал представлен в виде сравнения с «гладкой» поверхностью. В диссертации была бы уместной информация о микроструктуре (шероховатости), а также о краевых углах смачивания исследуемых поверхностей (включая «гладкую» поверхность)».

В отзыве д.ф.-м.н., профессора Павлова Павла Алексеевича, главного научного сотрудника ФГБУН Института теплофизики УрО РАН и д.ф.-м.н. Виноградова Владимира Егоровича, ведущего научного сотрудника того же института содержатся замечания: «1. Основное замечание: в автореферате встречаются обозначе-

ния, которые в тексте не расшифровываются. Например,  $G$ ,  $\mu$  на с. 19; ВЕП на рис. 27. 2. В 4 главе не указано, с какими растворами и при какой температуре проводились опыты. Поэтому непонятно, в какой мере полученные результаты могут быть использованы для анализа разделения других растворов».

В отзыве д.т.н., Готовского Михаила Абрамовича, главного научного сотрудника ОАО «НПО ЦКТИ» указано, что «1. Автору отзыва не удалось обнаружить на рис. 6 локальный максимум коэффициента массоотдачи при  $x/d_2 = 5$ , о котором говорится в тексте. 2. В тексте автореферата имеется краткая информация: «В Приложении к гл. 1 диссертации показано, что в каналах сложной формы могут быть использованы методы и подходы, основанные на аналогии тепло- и массообмена в однофазных и двухфазных потоках». Было бы целесообразно включить в автореферат немного конкретики, если уж диссертант решил об этом упомянуть».

Выбор официальных оппонентов обосновывается высокой квалификацией специалистов, наличием публикаций, соответствующих тематике диссертации, способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Так, д.т.н. Зейгарник Ю.А. является специалистом в области исследования кризисов кипения, теплообмена при кипении и испарении, в том числе при вынужденном течении двухфазных потоков; д.ф.-м.н., профессор Кузнецов Г.В. известен достижениями в области тепломассообмена при фазовых превращениях, гидроаэродинамики двухфазных потоков; д.т.н., профессор Попов И.А. – известный специалист в области интенсификации теплообмена, исследований эффективности тепломассообменных аппаратов и энергетических установок. Выбор ведущей организации обосновывается её признанными достижениями в области исследования и разработки фундаментальных основ тепломассообмена в энергетическом оборудовании тепловой и атомной энергетики. Сотрудники НИУ «МЭИ» д.т.н., профессор Ягов В.В., заведующий кафедрой Инженерной теплофизики к.ф.-м.н., доцент Герасимов Д.Н., могут дать обоснованную экспертную оценку достоверности, научной и практической значимости результатов работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основе выполненных соискателем экспериментальных исследований разработан комплексный подход к изучению тепломассопереноса в двухфазных системах и при фазовых превращениях, в том числе в бинарных смесях, в каналах с различными масштабами, формой и структурой поверхности, включая каналы с внезапным расширением и поворотом потока, прямоугольные миниканалы компактных теплообменников, структурированные насадки дистилляционных колонн. Предложены эмпирические зависимости для максимальных коэффициентов массоотдачи в однофазном и двухфазном потоках, определены положение зон с наибольшими коэффициентами массоотдачи и степень интенсификации массообмена в канале за сечением расширения и в канале с поворотом потока по сравнению с прямыми трубами; выявлены новые закономерности распределения толщины пленки жидкого азота и изменения волновых характеристик по периметру прямоугольного миниканала при спутном течении пара; доказана перспективность использования микроструктурированных поверхностей, полученных методом деформирующего резания, для интенсификации теплообмена при кипении в стекающих пленках хладагентов; выявлены области режимных параметров и характеристики структурированных насадок, для ко-

торых имеет место влияние формы поперечного сечения на эффективность разделения смесей; доказано на основании экспериментов, проведенных в одинаковых условиях разделения бинарной смеси в крупномасштабной дистилляционной колонне, что основные закономерности по влиянию высоты насадки, отношения расходов жидкости и пара, других режимных параметров, полученные для круглых колонн, действительны и для колонн с некруглым поперечным сечением.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что: раскрыты основные закономерности по влиянию высоты насадки, отношения расходов жидкости и пара, способов установки насадки в колонну на эффективность разделения смесей и перепад давления для различных структурированных насадок, в том числе с некруглым поперечным сечением; изучены закономерности изменения концентрации легкокипящего компонента бинарной смеси в стекающей пленке и температуры насыщения в зависимости от плотности орошения и теплового потока; доказано, что степень интенсификации теплообмена в стекающих пленках зависит от способа структурирования поверхности и режима теплообмена.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: представлены данные по интенсификации массообмена на внутренней поверхности каналов с поворотом потока и внезапным расширением, которые использованы в «АО Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных станций (АО «ЭНИЦ»)» при проведении исследований коррозионно-эрозионной стойкости элементов основного и технологического оборудования АЭС; представлены рекомендации для ООО «Инжехим» (г. Казань) по интенсификации тепло- и массообменных процессов при пленочном течении жидкостей на структурированных поверхностях, необходимые при разработке новых конструкций контактных устройств для промышленных колонн и анализе их работы в процессе эксплуатации; представлены рекомендации по использованию результатов исследования гидродинамики течения и теплообмена низкокипящих рабочих тел в перспективном тепло- и массообменном энергетическом оборудовании в составе пароконденсационных тепловых насосов и холодильных машин в лаборатории низкочастотной энергетики ФГБОУ ВО НГТУ; внедрены в учебный процесс механико-технологического факультета ФГБОУ ВО НГТУ результаты и методики исследования тепломассопереноса при противоточном течении пара и жидкости в процессе разделения бинарных смесей на структурированных насадках в дистилляционных колоннах; определены характеристики структурированных насадок и области нагрузок колонны, для которых имеет место влияние формы поперечного сечения на эффективность разделения применительно к процессам разделения многокомпонентных смесей в дистилляционных колоннах с разделительными стенками.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в работе использовались апробированные экспериментальные методики; надежность полученных данных подтверждается оценкой точности измерений, калибровкой измерительных датчиков, систематической поверкой средств измерения и измерительных приборов, сравнением с данными других исследователей и с расчетными зависимостями, расчетами тепловых и материальных балансов экспериментального тепломассообменного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, непосредственном участии в создании всех экспериментальных установок, разработке методик измерения, проведении экспериментов, в получении, анализе и обработке исходных данных. Основные научные результаты и выводы, включенные в диссертацию и выносимые на защиту, получены соискателем лично. Соискатель непосредственно участвовал в подготовке публикаций по выполненным исследованиям, лично участвовал в апробации результатов. Вклад соискателя в подготовку основных публикаций по результатам, приведенным в диссертации, был определяющим.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Печеркина Николая Ивановича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема в области теплофизики многофазных систем и фазовых превращений по выявлению закономерностей тепло- и массопереноса в каналах сложной формы, имеющая важное хозяйственное значение для разработки и создания высокоэффективного тепломассообменного оборудования в энергетике, криогенной и холодильной технике, химической технологии, и соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 29.04.2013 г.

На заседании 17 апреля 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Печеркину Н.И. ученую степень доктора технических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета  
д.ф.-м.н., академик РАН

Алексеев Сергей Владимирович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.ф.-м.н., профессор

Кузнецов Владимир Васильевич



19 апреля 2019 г.