

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 14.06.2023 № 16/2023

О присуждении Воробьеву Максиму Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Влияние дисперсной фазы на локальную структуру и теплообмен пузырьковых течений в области малых газосодержаний» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 05.04.2023 (протокол № 9-1/2023) 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 (ИТ СО РАН) 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 Воробьев Максим Александрович, 03.03.1989 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории основ безопасности и эффективного использования реакторных установок ИТ СО РАН. В 2015 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по направлению «Физика». В 2019 году Воробьев Максим Александрович окончил очную аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории физической гидродинамики (№ 6.2) 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 – Кашинский Олег Николаевич – доктор физико-математических наук, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории физической гидродинамики.

Официальные оппоненты:

Мусакаев Наиль Габсалямович – доктор физико-математических наук, профессор, Тюменский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, директор филиала;

Васильев Николай Викторович – кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, старший научный сотрудник -

дали положительные отзывы на диссертацию Воробьева Максима Александровича.

Ведущая организация:

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН), г. Уфа в своем положительном заключении, подписанном Урманчеевым Саидом Федоровичем - доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории «Механика многофазных сред» ИМех УФИЦ РАН указала, что «Результаты диссертационной работы М.А. Воробьева в целом представляют собой существенный вклад в теплофизику многофазных сред. Полученные автором результаты могут служить основой для создания новых методов расчёта пузырьковых систем. Научная значимость проделанной работы подтверждается достаточно весомым списком публикаций и многочисленными выступлениями на международных и российских научных конференциях. Практическая значимость полученных результатов состоит в их востребованности при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем различного назначения от энергетики до нефтяной промышленности. Немаловажную роль они могут играть и в экспертной оценке последствий техногенных аварий».

Соискатель имеет 46 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 36 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 12 работ.

В опубликованных работах представлены полученные экспериментальные данные о локальной структуре и теплообмене пузырьковых течений в области малых газосодержаний. 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 Воробьева Максима Александровича:

1. Воробьев М.А., Кашинский О.Н., Лобанов П.Д., Чинак А.В. Формирование мелкодисперсной газовой фазы в восходящем и опускном потоке жидкости // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2012. № 4. С. 75-81 (из перечня ВАК).
2. Воробьев М.А., Кашинский О.Н., Рандин В.В. Опускное пузырьковое течение в трубе при докритических числах Рейнольдса // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2019. № 2. С. 119-125 (из перечня ВАК).
3. Воробьев М.А. Теплообмен в восходящем пузырьковом течении в вертикальной сборке стержней // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26. № 2. С. 247-253 (из перечня ВАК).
4. Kashinskii O.N., Vorobyev M.A. Wall Shear Stress in a Model of 3 • 3 Rod Bundle // J. Eng. Thermophys. 2020. Vol. 29, № 3 (из перечня ВАК).
5. Vorobyev M.A., Kashinsky O.N. Specific features of downward bubbly flow near the vanishing gas flow regime // Interfacial Phenomena and Heat Transfer, 2023, 11(1):11–19 (из перечня ВАК).

На автореферат диссертации поступило 6 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 движения пузырьковых течений.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н., профессора Стрижака П.А. – профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией тепломассопереноса ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», содержится два замечания: «1. Для экспериментальных работ важно выполнить оценку доверительных интервалов и среднеквадратичных отклонений. Соответствующие пояснения необходимо включить в текст автореферата для понимания воспроизводимости результатов измерений в серии опытов. 2. В автореферате не приведены пояснения причин выбора варьируемых входных параметров и границ диапазонов измерения и их значений. Целесообразно такие пояснения привести для понимания ключевых связей с приложениями для разных областей. 3. В автореферате встречаются функциональные связи размерных величин с безразмерными. Очевидно, что они имеют место в определенных ограниченных диапазонах варьирования размерных входных параметров. Необходимы соответствующие пояснения».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н., профессора Кузнецова Г.В. – профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», содержится замечание: «1. Теория эксперимента еще со времен Р. Фишера предписывает результаты экспериментов представлять в виде математических моделей, которые в

дальнейшем могут использоваться на практике. Построить такие модели, чаще всего это аппроксимационные выражения, связывающие функцию цели (например, число Нуссельда) с основными значимыми факторами (например, число Рейнольдса), не всегда просто, но во многих случаях возможно. Автор диссертации эту необходимую, по мнению автора отзыва, часть работы экспериментатора не выполнил. Хотя, например, зависимость рис. 6, 7 автореферата можно было попытаться математизировать».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Семенова В.Н. – заместителя заведующего отделением ФГБУН Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, содержится два замечания: «1. В тексте реферата нигде не указано, как вводилась в поток газовая фаза в экспериментах, описанных в главах 4 и 5 (положение источника газа, его ориентация относительно потока). В тексте нет комментариев о том, как могли бы измениться результаты, если бы пузырьки появлялись на стенках при кипении. 2. Эксперименты по стержневым пучкам проведены с квадратной упаковкой стержней. Гораздо больший интерес представляли бы данные по пучкам с треугольной упаковкой, характерной для активных зон отечественных реакторных установок. 3. На рис. 2 неудачно расположены обозначения осей и шкалы откладываемых величин. На рис. 5 не указано, чему соответствуют точки, обозначенные разными символами. На рис. 6 перепутаны обозначения частей рисунка «в» и «г»».

В отзыве д.ф.-м.н., доцента Ряполова П.А. – декана естественно-научного факультета ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», замечаний не содержится.

В отзыве на автореферат д.т.н. Кавуна О.Ю. – главного специалиста АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», содержится два замечания: «1. Не представлено обоснования выбора той или иной жидкости (вода, глицерин или водо-глицериновая смесь) для каждой приведенной в автореферате группы экспериментов. 2. В автореферате отсутствует обобщение полученных экспериментальных результатов и рекомендации по применению полученных результатов».

В отзыве на автореферат д.т.н., профессора Павлова Г.И. – заведующего кафедрой «Специальные технологии в образовании» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ», содержится два замечания: «1. В автореферате отсутствуют данные метрологического характера, которые позволили бы оценить погрешности полученных значений. Эксперименты, в большинстве случаев, проводились на малых расходах газа и погрешности их определения, скорее всего, составят не малую часть от измененных значений, что в свою очередь существенно может сказаться на количественных характеристиках полученных зависимостей. 2. При малых расходах газа был замечен импульсный режим отрыва пузыря, когда цепочка пузырей периодически прерывается и возобновляется. Такая картина образования

пузырей характерна резонансным явлениям. К сожалению, в работе автор уделит мало внимания этому интересному случаю».

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 термогидродинамики многофазных систем, представленная школой академика РАН Нигматулина Р.И. Сотрудники ИМех УФИЦ РАН д.ф.-м.н., профессор Урманчиев С.Ф., д.ф.-м.н. Шагапов В.Ш., к.ф.-м.н. Галимзянов М.Н., могут дать обоснованную экспертную оценку достоверности, научной и практической значимости результатов работы.

Официальные оппоненты д.ф.-м.н. Мусакаев Н.Г. и к.т.н. Васильев Н.В. являются признанными специалистами в области термогидродинамики многофазных потоков, 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 получен значительный массив экспериментальных данных по режимам генерации дисперсной фазы на одиночном капилляре в потоке жидкости при различных условиях. Экспериментально показано влияние направления течения и ориентации капилляра в потоке на размер пузыря. Впервые получены экспериментальные данные о локальной гидравлической структуре опускного пузырькового течения вблизи режима зависания газовой фазы и при докритических числах Рейнольдса жидкой фазы. Показано качественное подобие структур течения в однофазном развитом турбулентном потоке и псевдотурбулентном пузырьковом течении. Проведено экспериментальное исследование теплообмена вертикального стержня в модели сборки квадратной компоновки к пузырьковому потоку. Впервые экспериментально измерены напряжение трения и пульсации напряжения трения на стенке вертикального стержня в сборке при восходящем пузырьковом течении. Впервые получены распределения локального газосодержания вблизи стенок стержней в ячейке вертикальной сборки квадратной компоновки. Показано, что наличие дистанцирующих элементов приводит к перестроению профиля газосодержания от колоколообразного к седлообразному. Обнаружено влияние структуры распределения газовой фазы по сечению канала на напряжение трения и интенсивность турбулентных пульсаций в пристенной зоне стержней сборки.

Теоретическая значимость работы связана с тем, что полученные экспериментальные данные о параметрах опускных пузырьковых течений при докритических числах Рейнольдса и вблизи режима зависания газовой фазы расширяют и дополняют существующие знания об опускных пузырьковых течениях. Экспериментальные данные об особенностях пузырьковых течений в вертикальной сборке стержней квадратной компоновки позволяют создать реальную физическую картину

течений двухфазных газожидкостных смесей в сборках, способствуют пониманию механизмов влияния газовой фазы на теплогидравлические параметры течения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики определяется тем, что знания о режимах генерации дисперсной фазы на капилляре в потоке жидкости важны для ряда технических приложений, в которых существует необходимость контроля дисперсности газовой фазы при движении пузырьковой среды, например, в абсорбционных насосах и биореакторах пузырькового типа, где размер газовых включений определяет скорость массообмена. Полученные результаты о локальных характеристиках опускных пузырьковых течений могут быть использованы для верификации расчетных моделей пузырьковых течений при малых расходах фаз. Экспериментальные данные об особенностях пузырьковых течений в вертикальной сборке стержней могут быть использованы при верификации расчетных защитных кодов для анализа аварийных ситуаций на АЭС.

Представленные в диссертационной работе результаты могут найти применение в научных организациях, занимающихся проблемами многофазных течений: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Институт механики), ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Институт механики и машиностроения - обособленное структурное подразделение ФГБУН «ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук», ИМех УФИЦ РАН, проектными организациями, такими, как: АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», «Газпромнефть НТЦ», ООО «НИИ Транснефть», ООО «РН-БашНИПИнефть» и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты, полученные с использованием современных методов измерений, являются обоснованными, и выполнены в рамках калибровок с определением неопределенностей измерений, проведено сопоставление полученных результатов автора диссертации с теоретическими данными других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в проектировании и сборке экспериментальных установок и рабочих участков, подготовке и проведении всех представленных в работе экспериментов, разработке и тестировании комплекса численных алгоритмов для анализа базы полученных экспериментальных данных, обработке и анализе результатов, подготовке статей для публикации в рецензируемых журналах и докладов на конференциях. Постановка задачи и основные методы исследования сформулированы руководителем диссертационной работы д.ф.-м.н. О.Н. Кашиным.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Воробьева Максима Александровича представляет собой научно-квалификационную

работу, в которой содержатся новые результаты комплексных исследований локальных гидродинамических и теплообменных характеристик пузырьковых течений, имеющие большое значение для развития термогидродинамики многофазных потоков. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842.

На заседании 14 июня 2023 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Воробьеву Максима Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по профилю специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН

Алексеев Сергей Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор РАН

Терехов Владимир Викторович



14 июня 2023 года