

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 15.05.2019 г. № 9 / 2019

О присуждении Рандину Вячеславу Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Гидродинамическая структура и теплообмен двухфазных газожидкостных потоков» по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, принята к защите 30.01.2019 г. (протокол заседания № 2/2019) 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 Рандин Вячеслав Валерьевич, 1963 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Турбулентная структура пузырьковых газожидкостных течений» защитил в 1993 году в диссертационном совете, созданном при Институте теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук, 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 физической гидродинамики и физико-химической гидромеханики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты: Вараксин Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), отдел гидродинамических и тепловых процессов в двухфазных потоках, заведующий; Мусакаев Наиль Габсалямович, д.ф.-м.н., доцент, Тюменский филиал ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики Сибирское отделение РАН, заместитель директора по научной работе; Щеклеин Сергей Евгеньевич, д.т.н., Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, кафедра атомные станции и возобновляемые источники энергии, заведующий, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, в своем

положительном заключении, подписанном д.ф.-м.н., профессором, главным научным сотрудником лаборатории «Механика многофазных сред» Урманчеевым Саидом Федоровичем, указала, что «Фактически, результаты диссертации – основа нового детального понимания влияния взаимодействия фаз на параметры течения газожидкостных потоков в поле силы тяжести... Очевидной представляется и практическая значимость полученных результатов: прежде всего, они необходимы при проектировании трубопроводных систем и установок широкого спектра назначения – от энергетики до нефтяной промышленности. Важную роль эти результаты могут иметь и при экспертизе последствий техногенных аварий, например, на нефтеперерабатывающих предприятиях. Полученные результаты могут быть использованы научными организациями, занимающимися проблемами многофазных течений: Институт механики МГУ (Москва), Московский энергетический институт (НИУ МЭИ), Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), Институт механики и машиностроения Казанского федерального исследовательского центра РАН (г. Казань), Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа) и др., проектными организациями, такими, как АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», ООО «РН-БашНИПИнефть» и др.»

Соискатель имеет 72 опубликованные работы. По теме диссертации опубликовано 46 работ: из них 18 публикаций в изданиях из перечня ВАК общим объемом 188 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 64 стр. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly gas-liquid flow in a vertical pipe // *Int. J. Multiphase Flow*, 1999, Vol. 25, No. 1, p. 109-138.
2. Kashinsky O.N., Gorelik R.S., Randin V.V. Structure of upward slug flow in a vertical pipe. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2002, Vol. 11, N 1, p.105-113.
3. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, P.D. Lobanov, M.A. Pakhomov, V.I. Terekhov. Experimental and numerical study of downward bubbly flow in a pipe // *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 2006, Vol. 49, p. 3717-3727.
4. O.N. Kashinsky, V.V. Randin, P.D. Lobanov. The influence of a small gas addition to the structure of gas-liquid downward flow in a tube. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2008, Vol. 17, No 2, p. 120-125.
5. А. Е. Гореликова, О. Н. Кашинский, М. А. Пахомов, В. В. Рандин, В. И. Терехов, А. В. Чинак. Турбулентная структура течения и теплоперенос в наклонном пузырьковом потоке. Экспериментальное и численное исследование // *Известия РАН. Механика жидкости и газа*, 2017, Т. 52, № 1. с. 117–129.
6. A.V. Chinak, A.E. Gorelikova, O.N. Kashinsky, M.A. Pakhomov, V.V. Randin, V.I. Terekhov. Hydrodynamics and heat transfer in an inclined bubbly flow // *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018, 118, pp. 785–801.

На автореферат диссертации поступило 7 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 гидродинамики течения и теплообмена газожидкостной смеси в каналах разной формы и ориентации.

В отзыве д.ф.-м.н. Стрижака Павла Александровича, профессора Национального исследовательского Томского политехнического университета содержатся замечания: «1. При имеющемся многообразии научных результатов диссертационной работы 4 защищаемых положения сформулированы общими словами в соответствии с содержанием глав диссертации. Целесообразно было выделить ключевые научные результаты в виде установленных эффектов, режимов и зависимостей для демонстрации конкретного вклада в развитие соответствующего научного направления. 2. Тематика исследований, безусловно, актуальна, если судить по публикациям в международных журналах в течение последних 5 лет. Целесообразно было хотя бы на нескольких рисунках или в виде таблицы привести сравнение с данными других авторов для демонстрации принципиальных отличий по конкретным эффектам и для обоснования достоверности полученных результатов. В автореферате указано, что такое сравнение выполнялось при проведении исследований. 3. Вопрос достоверности результатов исследований в автореферате практически не раскрыт. Можно было привести типичные зависимости с иллюстрацией случайных погрешностей и пояснить систематические, обсудить доверительные интервалы и СКО. В двухфазных системах действует большая группа факторов. Как следствие, многофакторные эксперименты сопровождаются влиянием совокупности факторов на достоверность измерений и последующих вычислений. В автореферате приводятся пояснения изменений регистрируемых параметров в пределах 9-20%. При этом открытым остается вопрос о диапазоне погрешностей. 4. Во вводной части автореферата кратко обозначены области потенциального использования результатов исследований: энергетика, химическая и микробиологическая промышленность, транспорт нефти и газа. В основной части не приведены пояснения, для каких приложений выбирались диапазоны варьируемых параметров, условия экспериментов, материалы системы и др. Ряд параметров и материалов выбирался явно для специфических условий и приложений. Возможно, данная информация приведена в рукописи диссертации. Желательно было соответствующие пояснения кратко раскрыть в тексте автореферата».

В отзыве д.ф.-м.н. Семенова Владимира Николаевича, заместителя заведующего отделением анализа безопасности ядерных энергетических установок Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН содержится замечание: «В качестве замечания можно отметить, что в тексте реферата не сказано о том, какие эмпирические и полуэмпирические методики, применяемые сейчас для расчета газожидкостных потоков, могли бы быть уточнены на основе полученных автором результатов».

В отзыве д.ф.-м.н. Павлова Павла Алексеевича, главного научного сотрудника Института теплофизики УрО РАН и д.ф.-м.н. Виноградова Владимира Егоровича, ведущего научного сотрудника Института теплофизики УрО РАН содержатся замечания: «1. В тексте автореферата нет хотя бы примерного описания техниче-

ских параметров экспериментальной установки, названий жидкостей и газов с которыми проводились опыты. 2. Как в тексте, так и на рисунках автореферата встречаются обозначения, которые в тексте не расшифровываются. Например, β появляется на с. 11, расшифровывается на с. 15. 3. В автореферате есть ссылки на работы других авторов, но нет списка этих публикаций».

В отзыве д.т.н. Корниенко Юрия Николаевича, главного специалиста Теплофизического отделения АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» содержатся замечания: «1. В конце описания каждой из глав автореферата отсутствуют заключения, суммирующие и обобщающие и полученные в представленной диссертации результаты. Это понижает, в целом, благоприятное впечатление о высоком качестве данной работы. 2. В автореферате ни в табличной, ни в какой-либо иной форме не приведены области режимных и геометрических параметров, в которых осуществлены автором эксперименты в сравнении с имеющими в литературе данными. 3. В содержании глав 2-6 автореферата отсутствуют конкретные данные об оценках погрешностей проведенных экспериментальных исследований, в частности, не указано: а) влияние порога дискриминации газовой фазы, б) дисперсности размеров газовых включений, а также в) параметров электрохимических датчиков на результаты измерений. 4. В главе 4 автореферата представлено описание экспериментов по опускному пузырьковому течению в «псевдоламинарном» режиме течения. Следует отметить, что пульсации скорости жидкости в «псевдоламинарном» режиме расслаиваются. Пульсации для малых расходных газосодержаний (0.005 и 0.01) расположены ниже, чем пульсации для более высоких значений газосодержания. Тогда как в турбулентном режиме такого расслоения не наблюдалось. Не приведено объяснения данного эффекта. 5. В работе «показано значительное влияние малых концентраций газовой фазы на гидродинамические характеристики и теплообмен пузырькового течения в различных условиях», однако не приведены авторские корреляции, описывающие этот эффект».

В отзыве д.ф.-м.н. Шарафутдинова Рамиля Фаизыровича, профессора кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» содержится замечание «Из автореферата не ясно, проводились ли исследования теплообменных процессов для восходящего снарядного течения в вертикальной трубе».

В отзыве д.ф.-м.н. Ерманюка Евгения Валерьевича, Врио директора Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН содержится замечание «При сопоставлении профилей скорости, полученных для однофазной и пузырьковой жидкости с различным газовым содержанием, используется классический закон распределения скорости, подразумевающий наличие ламинарного и логарифмического подслоев. Для полноты картины можно было бы упомянуть также подходы к описанию однофазных течений в трубе в духе Barenblatt-Chorin-Prostokishin, уравнений Camassa-Holm...».

В отзыве д.т.н. Таирова Эмира Асгадовича, главного научного сотрудника Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН замечаний не содержится.

Выбор официальных оппонентов обосновывается высокой квалификацией специалистов, наличием публикаций, соответствующих тематике диссертации, спо-

способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Вараксин А.Ю., чл.-корр. РАН, является признанным в мире специалистом в области двухфазных сред и их использования в энергетике; Мусакаев Н.Г., д.ф.-м.н., известный специалист в механике многофазных систем, им проведен цикл исследований по многофазному течению в каналах, открыт ряд новых физических явлений и эффектов, разработан комплекс оригинальных замкнутых математических моделей течения двухфазной смеси в нефтегазопромысловом оборудовании; Щеклеин С.Е., д.т.н., известен работами в сфере термодинамики ядерных энергетических установок, проблем атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков, продлению ресурса и повышению надежности оборудования АЭС.

Выбор ведущей организации обосновывается её признанными достижениями в области механики многофазных систем, представленными школой академика РАН Р. И. Нигматулина. Сотрудники Института механики им. Р.Р. Мавлютова д.ф.-м.н., профессор Урманчиев С.Ф., главный научный сотрудник лаборатории «Механика многофазных систем» и д.ф.-м.н., профессор Шагапов В.Ш., главный научный сотрудник лаборатории «Механика многофазных систем», 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 гидродинамики двухфазных систем, основанный на использовании новых и оригинальных методик одновременного измерения трения на стенке, распределения скорости жидкости и локального газосодержания в поперечном сечении канала. Получена новая экспериментальная информация о локальной структуре течения в опускном пузырьковом газожидкостном потоке и доказано существование вблизи стенки области, свободной от газовых пузырей. Проведено детальное исследование распределения локальной скорости по радиусу канала, выявлена деформация профиля скорости жидкости присутствием газовых пузырей. Проведено подробное измерение пульсационной структуры потока с детальным измерением в пристенной области течения, впервые выявлен эффект подавления турбулентных пульсаций в опускном потоке. Доказано, что «псевдоламинарное» течение качественно подобно течению в развитом турбулентном режиме. Выявлено развитие псевдотурбулентности, наведенной пузырями, даже при малых значениях расходного газосодержания. В газожидкостном течении в прямоугольном наклонном канале выявлены углы наклона канала по отношению к горизонту, при которых происходит увеличение трения и теплообмена, установлено, что при малых добавках газа происходит резкое увеличение теплоотдачи и трения на стенке.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что полученные результаты способствуют более глубокому пониманию процессов, происходящих в опускном пузырьковом течении, влияния газовой фазы на турбулентную структуру потока и могут быть использованы для реализации эффективных методов управления тепломассопереносом в газожидкостных потоках. Применительно к проблематике диссертации результативно использован метод условного осреднения, что позволило провести в снарядном потоке исследования течения отдельно в жидкой

пробке и в пленке жидкости вокруг снаряда, доказано наличие отрицательного трения в пленке вокруг снаряда. Измерения в опускном пузырьковом потоке в развитом турбулентном режиме позволили выявить демпфирование турбулентных пульсаций на некотором расстоянии от стенки. Исследования «псевдоламинарного» опускного пузырькового течения при докритических числах Рейнольдса продемонстрировали, что «псевдоламинарный» опускной пузырьковый поток ведет себя аналогично развитому турбулентному течению. Экспериментальные данные в наклонном канале позволяют выяснить влияние силы тяжести на движение газожидкостных смесей. При малых добавках газа в поток происходит резкое повышение трения и теплоотдачи от стенки. Максимальные значения трения и теплоотдачи наблюдаются при промежуточных углах наклона.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что создана экспериментальная база для количественной верификации существующих и развития новых теоретических и численных моделей пузырькового течения. Такие модели могут быть использованы для развития промышленных кодов, что позволит повысить безопасность и эффективность при проектировании и эксплуатации аппаратов тепловой и атомной энергетики, химической и нефтегазовой промышленности. Полученные результаты могут быть использованы специалистами ИБРАЭ РАН, ОИВТ РАН, МЭИ, ИАТЭ, НИКИЭТ, ИТПМ СО РАН, ИМ УФИЦ РАН и других организаций.

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 объемных и тепловых балансов экспериментального оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, 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. Вклад соискателя в подготовку основных публикаций по результатам, приведенным в диссертации, был определяющим.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Рандина Вячеслава Валерьевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований выявлены новые закономерности гидродинамической структуры и теплообмена двухфазных газожидкостных течений в различных режимах, имеющие важное значение для разработки высокоэффективных методов расчета газожидкостных потоков и соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 29.04.2013 г.

На заседании 15 мая 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Рандину В.В. ученую степень доктора физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 21, 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

17 мая 2019 г.

