

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 01.02.2023 № 1/2023

О присуждении Ковалеву Александру Владиславовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Влияние вязкости фаз на гидродинамические характеристики потоков несмешивающихся жидкостей в микроканалах прямоугольного сечения» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 30.09.2022, протокол № 17-1/2022 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 Ковалев Александр Владиславович, 17.01.1993 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории процессов переноса в многофазных системах ИТ СО РАН. В 2017 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ) по направлению 03.04.02 – «Физика», в 2021 году окончил очную аспирантуру НГУ по направлению 03.06.01 - Физика и астрономия, по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории процессов переноса в многофазных системах 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 – Бильский Артур Валерьевич, кандидат физико-математических наук, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии, старший научный сотрудник лаборатории процессов переноса в многофазных системах.

Официальные оппоненты:

Брацун Дмитрий Анатольевич - доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», заведующий кафедрой прикладной физики;

Пискунов Максим Владимирович – кандидат физико-математических наук (01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника), федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова, доцент -

дали положительные отзывы на диссертацию Ковалева Александра Владиславовича.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН), г. Новосибирск в своем положительном заключении, подписанном Ляпидевским Валерием Юрьевичем - доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории дифференциальных уравнений ИГиЛ СО РАН и доктором физико-математических наук, директором ИГиЛ СО РАН Ерманюком Евгением Валерьевичем, указала, что «В совокупности с данными по длине и скорости снарядов текущая экспериментальная база позволяет проектировать чипы для проведения химических реакций в микроканалах, как в непрерывном, так и в сегментированном режиме...Данные по интенсификации перемешивания и циркуляции в вихревых структурах в серпантинных и прямых микроканалах позволяют подбирать наиболее эффективный дизайн устройства для создания микромиксеров и микрореакторов».

Соискатель имеет 41 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 23 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 8 работ. В работах содержатся результаты экспериментальных исследований потоков жидкость-жидкость в микроканалах. Представлено обобщение режимных карт, а именно перехода от снарядного режима к параллельному. Описано влияние вязкостей фаз и их отношения на режимы течения и структуру потока в снарядах и перемычках.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Ковалева Александра Владиславовича:

1. Kovalev A.V., Yagodnitsyna A.A., Bilsky A.V. Flow hydrodynamics of immiscible liquids with low viscosity ratio in a rectangular microchannel with T-junction // Chem. Eng. J. – 2018. – Vol. 352. – P. 120–132.

2. Kovalev A., Yagodnitsyna A., Bilsky A. Plug flow of immiscible liquids with low viscosity ratio in serpentine microchannels // Chem. Eng. J. – 2021. – Vol. 417. – P. 127933.
3. Kovalev A.V., Yagodnitsyna A.A., Bilsky A.V. Viscosity Ratio Influence on Liquid-Liquid Flow in a T-shaped Microchannel // Chem. Eng. Technol. – 2021. – Vol. 44, № 2. – P. 365–370.
4. Yagodnitsyna A.A., Kovalev A.V., Bilsky A.V. Ionic liquid-water flow in T-shaped microchannels with different aspect ratios // Chem. Eng. Res. Des. – 2020. – Vol. 153. – P. 391–400.
5. Ковалев А.В., Ягодницына А.А., Бильский А.В. Определение границы перехода между сегментированными и непрерывными режимами течения в микроканальных потоках жидкость – жидкость на основе критериев подобия // Теплофизика и аэромеханика. – 2021. – Т. 28, № 6. – С. 871–877.

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что исследования выполнены на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и способствуют восполнению имеющихся пробелов в области исследования микроканальных потоков жидкость-жидкость.

В отзыве на автореферат д.т.н. Абиева Р.Ш. – заведующего кафедрой оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», содержатся замечания: «1. С. 5 автореферата. Выражение «реакции экстракции» вряд ли можно признать корректным, поскольку экстракция – один из массообменных процессов, но он может сопровождаться химической реакцией. 2. Как проводились линии, ограничивающие «сегментированные» и «непрерывные» режимы течения на рис. 4 автореферата? Складывается впечатление, что на рис.4а и 4б их следовало провести ниже и под другим углом. 3. На практике часто требуется различать капельный (когда капли имеют сферическую форму) и снарядный (с каплями вытянутой формы) режимы. Можно ли расширить разработанный в диссертации подход для проведения различия между ними? 4. На рис. 7в выполнено сравнение с данными Дж. Тейлора (1961) для системы жидкость-газ, т.е. отношения вязкостей фаз при этом составляет $\lambda = 0,018$. Насколько правомерно сравнивать эти данные со случаями существенно больших значений λ ?» 5. При построении зависимостей, представленных на рис. 7 автореферата автор диссертации не принял во внимание модели, разработанные автором данного отзыва (публикации в журналах Теоретические основы химической технологии, Chemical Engineering Journal, Physics of Fluids). Возможно, это стало причиной вывода на с. 17 автореферата, с которым трудно согласиться: «является следствием эффекта ручейков несущей фазы в углах канала, которые движутся быстрее, чем снаряд, и начинают дополнительно ускорять его

относительно среднерасходной скорости». Как показано в наших работах (см., например С.С. Falconi et al. Numerical and experimental analysis of local flow phenomena in laminar Taylor flow in square mini-channel // Physics of fluids 28, 012109 (2016)), в углах канала скорость жидкости меньше скорости капли («снаряда»), и может даже принимать отрицательные значения. При этом из уравнения неразрывности двухфазного потока следует, что увеличение скорости снаряда возможно именно при уменьшении скорости в плёнке. 6. Произведение $f_0 t_{vc}$, как показывает простой анализ формулы (2), прямо пропорционально капиллярному числу: $f_0 t_{vc} = D_h/w * Ca_k$. Поэтому не удивительно, что точки на рис. 8б и 8в почти идеально ложатся на прямую линию. 7. В работе основное внимание сосредоточено на влиянии вязкостей фаз на длину снарядов. В действительности существенное влияние на длину снарядов оказывает ещё и геометрия генератора капель, о чем следовало бы хотя бы упомянуть в автореферате».

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Буляницы А.Л. – ведущего научного сотрудника лаборатории Информационно-измерительных био- и хемосенсорных микросистем Института аналитического приборостроения РАН содержится два замечания: «1. Заключительный пункт раздела «Научная новизна» (стр.5) содержит информацию о «разрушении вихревых структур в перемычках несущей фазы при малых числах Дина». Представляется, что выражение для этого характеристического числа следовало бы в автореферате привести. Тем более, что в него входит используемый соискателем параметр – кривизна канала β . 2. Представляется неудачным применение термина «управляющий параметр» применительно к «геометрии канала» при описании механизма формирования снарядов заданной длины (стр.17). «Геометрия», очевидно, включает в себя целый набор геометрических характеристик: длина, ширина, кривизна, аспектное отношение и т.п.».

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Сергеева Д.А. – зав. лабораторией экспериментальных методов в геофизической и технической гидродинамике ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» содержится два замечания: «1. На всех графиках, где представлены экспериментальные результаты отсутствуют указатели доверительных интервалов. Это несколько затрудняет интерпретацию данных. Возможно, доверительные интервалы меньше размеров символов, но тогда это следовало бы указать. 2. Несмотря на то, что новизна работы обозначена достаточно чётко считаю, что было бы полезно привести сравнение с ранее полученными близкими результатами. Возможно, ограниченный объём автореферата не позволил это сделать, а в самой диссертации подобный сравнительный анализ выполнен.»

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 гидродинамики многофазных течений, в том числе микроканальных течений жидкость-

жидкость, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Ерманюк Е.В., д.ф.-м.н. Ляпидевский В.Ю., д.ф.-м.н. Куперштох А.Л., д.ф.-м.н. Кузнецов В.В. и др.). Официальные оппоненты д.ф.-м.н. Браун Д.А. и к.ф.-м.н. Пискунов М.В. являются признанными специалистами в области механики жидкости и газа, в частности, в вопросах микроканальных потоков с межфазными границами. Оппоненты имеют научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа, опубликованные в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получена обширная база экспериментальных данных по границам перехода между режимами течения для ряда комбинаций несмешивающихся жидкостей. Предложена модификация безразмерного комплекса на основе чисел Вебера и Онезорге, которая позволила обобщить границу перехода между сегментированным и параллельным режимами для жидкостей с различными физическими свойствами. Впервые показано влияние отношения вязкостей фаз на форму капель, снарядов и изменения в топологии внутренних течений, описан механизм данного явления. Показана возможность срыва микрокапель с хвостовой части снарядов для случая малых отношений вязкостей фаз за счёт сдвиговых напряжений при отсутствии поверхностно-активных веществ, предложен безразмерный комплекс для определения перехода к отрыву микрокапель. В серпантинных микроканалах для малого отношения вязкостей дисперсной и непрерывной фаз впервые обнаружен разрыв снарядов в криволинейных участках каналов и разрушение вихревых структур в перемычках между снарядами.

Теоретическая значимость исследования определяется вкладом в развитие механики жидкости и газа, связанным с расширением базы экспериментальных данных по характеристикам микроканальных потоков жидкость-жидкость; получением достоверной детальной информации о структуре потоков, необходимой для верификации физико-математических моделей и валидации результатов моделирования процессов в перспективных микроканальных устройствах.

Значимость полученных соискателем результатов для практики определяется возможностью применения полученных результатов при решении актуальных задач совершенствования технологий химической промышленности и разработки новых видов микромиксеров и микрореакторов. Полученные А.В. Ковалевым результаты могут найти применение в организациях: ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени

М.В.Ломоносова», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» и других.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что проведенная статистическая обработка экспериментальных данных, полученных с использованием бесконтактных методов полевой диагностики многофазных течений и высокопроизводительных измерительных систем, обеспечивает достаточную неопределенность измерений, имеется удовлетворительная повторяемость результатов экспериментов в идентичных условиях.

Соискатель внес определяющий вклад в создание экспериментальных стендов, постановку и проведение экспериментальных исследований, анализ результатов измерений и подготовку публикаций. Результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Постановка решаемых задач проводилась диссертантом как лично, так и совместно с научным руководителем к.ф.-м.н. А.В. Бильским.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Ковалева Александра Владиславовича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержатся новые результаты комплексных исследований гидродинамики двухжидкостных течений в микроканалах, имеющие существенное значение для механики многофазных систем. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 1 февраля 2023 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Ковалеву Александру Владиславовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 . Механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по профилю специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор РАН

1 февраля 2023 года



Алексеев Сергей Владимирович

Терехов Владимир Викторович