

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 21 декабря 2018 года публичной защиты диссертации Лобасова Александра Сергеевича «Особенности режимов течения и смещения жидкостей в Т-образном микроканале» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании присутствовали 19 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы:

1. Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2. Пикущак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
3. Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
4. Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5. Бубенчиков Алексей Михайлович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
6. Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7. Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
8. Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
9. Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10. Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
11. Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
12. Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
13. Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
14. Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
15. Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
16. Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
17. Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
18. Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
19. Якутенок Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

**В связи с кончиной председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича заседание провел заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – 1) диссертационный совет принял решение присудить А. С. Лобасову ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.13,  
созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

решение диссертационного совета от 21.12.2018 № 359

О присуждении **Лобасову Александру Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Особенности режимов течения и смешения жидкостей в Т-образном микроканале»** по специальности **01.02.05** – Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 12.10.2018 (протокол заседания № 346) диссертационным советом **Д 212.267.13**, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Лобасов Александр Сергеевич**, 1987 года рождения.

В 2010 году соискатель окончил федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет».

В 2013 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет».

Работает в должности старшего преподавателя кафедры теплофизики в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре теплофизики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, **Минаков Андрей Викторович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра Теплофизики, доцент.

Официальные оппоненты:

**Кузнецов Гений Владимирович**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова, главный научный сотрудник

**Матвиенко Олег Викторович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра теоретической механики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, в своем положительном отзыве, подписанном **Андреевым Виктором Константиновичем** (доктор физико-математических наук, профессор, отдел дифференциальных уравнений, заведующий отделом) и **Бекежановой Викторией Бахытовной** (доктор физико-математических наук, профессор, отдел дифференциальных уравнений, ведущий научный сотрудник), указала, что миниатюризация устройств и разработка жидкостных технологий для применения в микро- и минимасштабных системах стимулируют существенный рост интереса к капиллярной гидродинамике. Подобные микросистемы широко используются в различных областях науки и техники: в аэрокосмической и химической промышленности, транспорте и энергетике, теплофизике и биомедицине. По мере развития микро- и нанотехнологий и их внедрения в

разнообразные опытные методики и наукоемкое производство возникают все более сложные задачи о течении жидкости в микро- и наноканалах. Во многих случаях смещение баланса силовых, энергетических и массовых потоков, связанное с качественным скачком при переходе к размерам менее 100 мкм, поддается управлению и может использоваться для многократной интенсификации процессов, создания комбинации технологических условий, недостижимых в обычном оборудовании (в обычных условиях), а также для получения уникальных продуктов и материалов с заданными характеристиками. Для работы большинства микроканальных устройств, применяемых в химических и биологических технологических процессах, необходимо быстрое и эффективное перемешивание веществ, тогда как течение в микроканалах бывает преимущественно ламинарным, и перемешивание происходит посредством диффузии, т.е. очень медленно. Возникает необходимость в разработке микромиксера с наибольшим значением эффективности смешения и наименьшим временем перемешивания. Тематика исследования соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ (п. 8. «Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика») и Перечню критических технологий РФ (п. 14. «Технологии наноустройств и микросистемной техники»), утвержденным Указом Президента РФ от 07.07.2011 № 988. представляет как теоретический, так и практический интерес.

Соискатель имеет 66 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 29 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ (из них в зарубежных научных журналах, входящих в Web of Science, опубликовано 2 работы; в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science или Scopus, опубликовано 2 работы); в научных изданиях, индексируемых Scopus, опубликовано 2 работы; в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций опубликовано 19 работ. Общий объем публикаций – 8,81 а.л., авторский вклад – 4,72 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Lobasov A. S.** Analyzing mixing quality in a T-shaped micromixer for different fluids properties through numerical simulation / A. S. Lobasov, A. V. Minakov // Chemical Engineering and Processing : Process Intensification. – 2018. – Vol. 124. – P. 11–23. – 0,81 / 0,27 а.л.

2 **Лобасов А. С.** Изучение режимов смешения жидкости и наножидкости в Т-образном микромиксере / А. С. Лобасов, А. В. Минаков, В. Я. Рудяк // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91, № 1. – С. 133–145. – 0,81 / 0,27 а.л.

*в переводной версии журнала:*

**Lobasov A. S.** Study of the Mixing Regimes of a Fluid and a Nanofluid in a T-shaped Micromixer / A. S. Lobasov, A. V. Minakov, V. Ya. Rudyak // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2018. – Vol. 91, is. 1. – P. 124–135.

3. **Лобасов А. С.** Влияние вязкости на режимы течения в микромиксере Т-типа / А. С. Лобасов, А. В. Минаков, В. Я. Рудяк // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2016. – № 3. – С. 89–98. – 0,63 / 0,27 а.л.

*в переводной версии журнала:*

**Lobasov A. S.** Viscosity Effect on the Flow Patterns in T-Type Micromixers / A. S. Lobasov, A. V. Minakov, V. Y. Rudyak // Fluid Dynamics. – 2016. – Vol. 51, is. 3. – P. 381–388. – DOI: 10.1134/S0015462816030108.

На автореферат поступило 2 положительных отзыва. Отзывы представили:

1. **С. А. Исаев**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией фундаментальных исследований Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, *с замечаниями:* не представлен бэкграунд работы, не указаны прототипы, в сравнении с которыми обосновывается научная новизна диссертации; численная методология оказалась нераскрытой, методы аппроксимации, решения конечно-объемных уравнений, расчетные сетки требуют представления; постановку задачи и ее реализацию следовало бы уточнить: неясно

насколько изменятся результаты, если увеличить длину подводящего канала, и какие профили скорости задаются на входе в каждый из подводящих каналов; не представлена верификация численного моделирования; следовало оценить относительную эффективность смешения, принимая во внимание увеличение гидравлических потерь. 2. **В.М. Анискин**, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории № 13 Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний*.

В отзывах отмечается, что актуальность, что диссертационная работа А. С. Лобасова выполнена в русле актуального направления исследований течения жидкости на микромасштабах – микрофлюидики. Движущей силой этих исследований является, главным образом, общая тенденция уменьшения габаритов технологических устройств различного назначения. Понимание физических процессов, связанных с закономерностями смешения жидкостей в Т-образных микромиксерах и влиянием на течение соотношения сторон, а также теплофизических и реологических свойств смешивающихся жидкостей, позволяют создать научные основы для проектирования устройств прикладного назначения. А. С. Лобасовым выполнено параметрическое исследование течения жидкостей в Т-образных микроканалах с целью определения таких режимов, при которых смешение жидкостей происходит наиболее эффективно; получены корреляционные зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления и критического числа Рейнольдса от геометрических размеров и соотношения сторон Т-образного микромиксера, свойств смешивающихся жидкостей и наножидкостей; получены заслуживающие внимания результаты о приведенной эффективности смешения (отношение эффективности смешения к перепаду давлений и к объему системы), использование которой позволяет определить оптимальные размеры миксеров и режимы течения в них; детально исследован режим формирования стационарных несимметричных спиралевидных вихрей, сопровождающийся скачкообразным ростом смешения (в 45 раз).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Г. В. Кузнецов** – известный специалист в области теплофизики, физики горения и взрыва, механики жидкости и газа и сопряженного тепломассопереноса;

**О. В. Матвиенко** – известный специалист в области компьютерного моделирования задач тепломассообмена, горения в закрученных потоках в различных технологических устройствах, а также моделирования гидромеханических процессов в классификационных; **Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»** известен своими достижениями в области численного моделирования задач механики жидкости, газа и плазмы; математического моделирования и анализа природных, социальных и технологических процессов с применением высокопроизводительных вычислительных комплексов новых поколений; теоретического и экспериментального обеспечения разработки перспективных космических технологий и техники; создания информационно-геоинформационного моделирования и поддержки решений.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработаны* математическая модель и численная методика для описания гидродинамики и смешения жидкостей в микроканалах;

*проведено* тестирование расчётного алгоритма на известных аналитических задачах и результатах экспериментальных исследований. Показано хорошее согласование численных решений с этими данными во всех рассмотренных случаях;

*получена* зависимость эффективности смешения жидкостей и перепада давлений от числа Рейнольдса и характерных размеров каналов; установлено, что геометрические размеры канала смешения являются одним из основных условий, влияющих на появление втягивающего режима; получены корреляции для определения критического числа Рейнольдса, а также коэффициента гидродинамического сопротивления;

*получены* зависимости эффективности смешения жидкостей и перепада давлений от числа Рейнольдса и теплофизических свойств жидкостей; установлено, что с увеличением отношения вязкостей смешиваемых жидкостей значение критического числа Рейнольдса увеличивается, при этом изменение отношения плотностей не влияет на критическое число Рейнольдса; предложен способ определения эффективной вязкости смеси, при использовании которого значение приведённого критического числа Рейнольдса не зависит от отношения вязкостей смешиваемых жидкостей;

*получены* зависимости перепада давлений и эффективности смешения жидкостей от числа Рейнольдса и реологических свойств жидкостей; установлено, что с уменьшением значения показателя степенной модели критическое значение числа Рейнольдса увеличивается; предложена корреляция для определения критического числа Рейнольдса для течения степенных жидкостей;

*проведены* систематические исследования смешения жидкости и наножидкости в Т-образном микромиксере; построена зависимость эффективности смешения жидкостей и перепада давлений от числа Рейнольдса и свойств наножидкости; установлено, что с увеличением среднего размера наночастиц критическое значение числа Рейнольдса уменьшается, а с ростом объемной концентрации – увеличивается; определены корреляционные зависимости критического значения числа Рейнольдса от концентрации и размера наночастиц;

*показана* возможность использования полученных в результате работы карт режимов течения, а также корреляционных зависимостей перепада давлений и эффективности смешения при создании и оптимизации высокоэффективных микромиксеров и микрореакторов для химической и фармацевтической промышленности, а также в биологических и медицинских приложениях.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*полученные* результаты исследований дополняют имеющиеся теоретические представления о смешении жидкостей в Т-образных микроканалах, а также о различных режимах течения, реализующихся в них;

*полученные* корреляционные зависимости эффективности смешения и перепада давления для Т-образных микромиксеров в широком диапазоне их рабочих параметров послужат информационным источником для дальнейших исследований в области гидродинамики и смешения жидкостей в микроканалах различной формы.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:**

*полученные* корреляционные зависимости позволяют определять эффективность смешения различных жидкостей и перепад давлений в канале смешения для Т-образных микромиксеров в широком диапазоне их рабочих параметров;



*полученные* результаты могут быть использованы при создании и оптимизации высокоэффективных микромиксеров и микрореакторов для химической и фармацевтической промышленности, а также в биологических и медицинских приложениях;

*результаты* работы используются в учебном процессе кафедры Теплофизики Сибирского федерального университета в дисциплинах «Тепломассообмен», «Вычислительная теплофизика», «Вычислительная гидродинамика».

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Полученные результаты и методики исследования особенностей режимов течения и смешения жидкостей в Т-образном микроканале могут быть распространены на различные виды микромиксеров и найти применение в исследованиях по течению и смешению различных жидкостей в микроканалах и микромиксерах различных видов и форм, по механике жидкости, газа и плазмы, проводимых в различных научных и учебных заведениях, таких, как Сибирский федеральный университет (г. Красноярск), Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск), Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, а также в других организациях, занимающихся исследованиями режимов течения и механизмов смешения различных жидкостей в микроканалах и микромиксерах различных видов и форм и использоваться при подготовке высококвалифицированных специалистов в области механики жидкости, газа и плазмы.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

достоверность результатов проведённого исследования обеспечивается использованием математической модели, основанной на фундаментальных законах сохранения массы, импульса и энергии в потоке жидкости или газа;

*проведено* всестороннее тестирование и верификация расчётного алгоритма на ряде модельных задач путём сравнения получаемых результатов с аналитическими решениями, эталонными расчётами и экспериментальными данными других авторов.

**.Научная новизна** результатов диссертационного исследования заключается в том, что в нем впервые:

– систематически исследованы режимы течения и перемешивания в Т-образном микромиксере в широком диапазоне теплофизических и реологических свойств смешивающихся жидкостей;

– получены новые результаты исследований влияния геометрических размеров микромиксера на режимы течения и смешения жидкостей в нём и показано определяющее влияние отношения высоты к ширине канала смешения на эффективность смешения и режимы течения в Т-образном микромиксере;

– изучены режимы течения и смешения жидкости и наножидкости в Т-образном микромиксере и впервые установлено влияние объёмной концентрации наночастиц и их среднего размера на режимы течения и перемешивания в Т-образном микромиксере;

– предложены новые корреляционные зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления и критического числа Рейнольдса от геометрических размеров канала смешения Т-образного микромиксера, а также от теплофизических и реологических свойств смешивающихся жидкостей и наножидкостей.

**Личный вклад соискателя состоит в:** осуществлении совместно с научным руководителем постановки цели и всех задач диссертации, создания и тестирования математической модели и численной методики для описания гидродинамики и смешения жидкостей в микроканалах; самостоятельном получении основных результатов, выносимых на защиту; проведении численных

исследований влияния геометрических размеров каналов, теплофизических и реологических свойств смешивающихся жидкостей на эффективность их смешения и на возможности управления процессом смешения в Т-образных микроканалах для однородных жидкостей и наножидкостей; обсуждении результатов исследования, формулировке выводов и заключений по материалам исследований и подготовке основных публикаций по теме диссертации.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, заключающейся в систематическом изучении течения и смешения жидкостей в Т-образных микромиксерах для повышения эффективности химических реакторов и интенсификации процессов смешения в микромеханических системах, имеющей значение для развития вычислительной гидродинамики и механики жидкости, газа и плазмы в микроканалах.

На заседании 21.12.2018 диссертационный совет принял решение присудить **Лобасову А. С.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя  
диссертационного совета



Христенко Юрий Федорович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Пикущак Елизавета Владимировна

21.12.2018